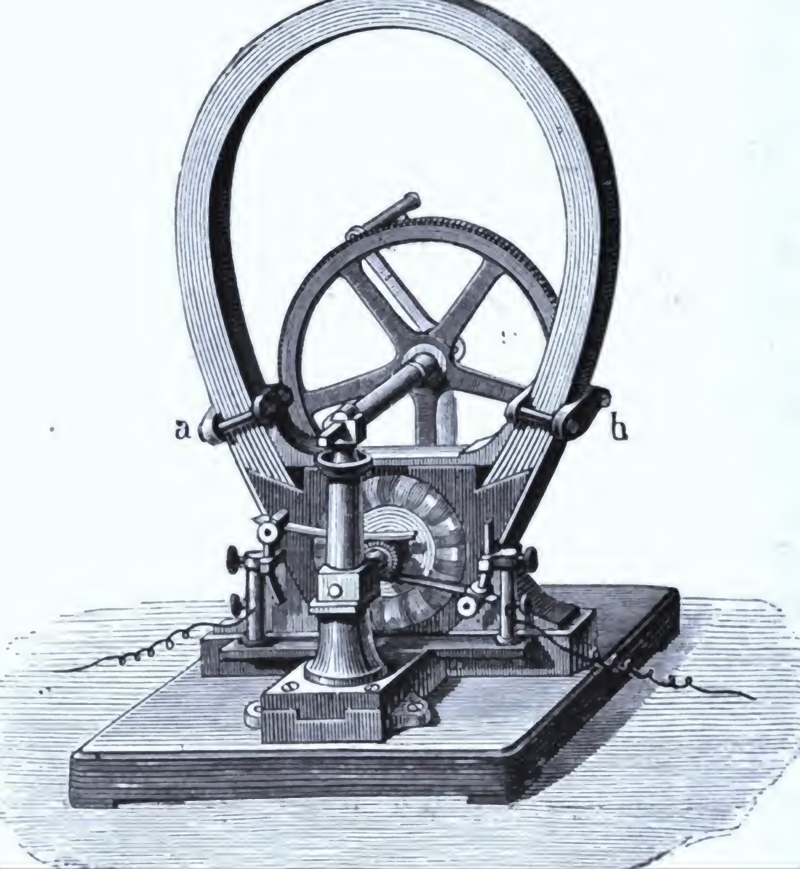
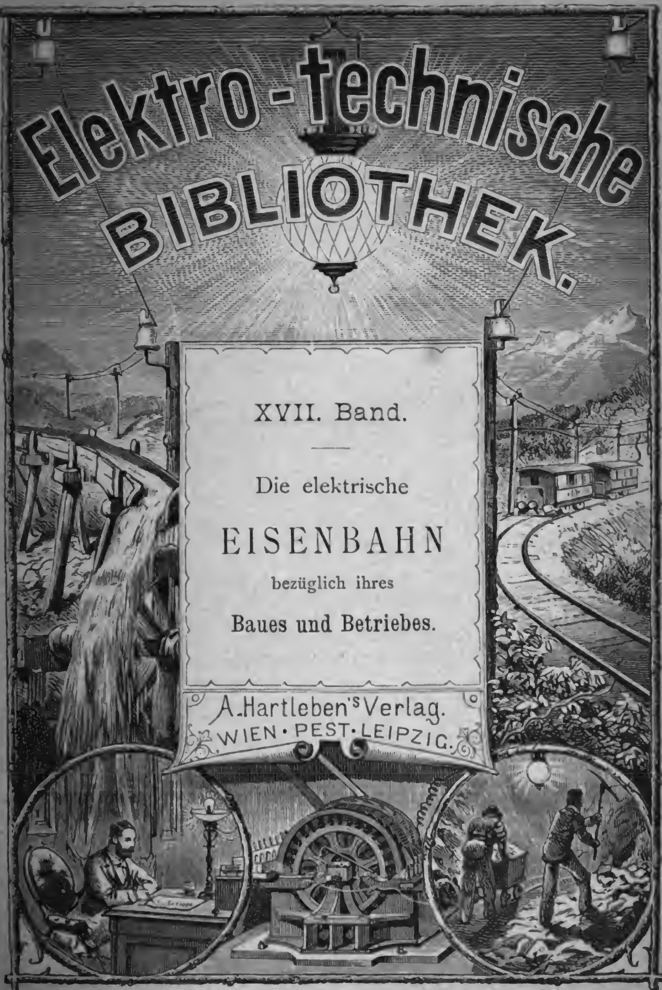



# Die elektrische Eisenbahn bezuglich ihres Baues und ...

Josef Krämer


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XVII. Band.
Die elektrische
EISENBAHN
bezüglich ihres
Baues und Betriebes.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

Die

# ELEKTRISCHE EISENBAHN

bezüglich ihres

## Baues und Betriebes.

---

Dargestellt von

**J. Krämer.**

---

*Mit 105 Abbildungen und 2 Tafeln.*



WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1883.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

# Vorwort.

Das vorliegende Werk hat eine zweifache Aufgabe zu erfüllen. Es soll erstens dem Elektrotechniker das Allernothwendigste von dem bieten, was bei der Anlage und dem Betriebe elektrischer Eisenbahnen zu wissen erforderlich, in der elektrotechnischen Literatur aber nicht zu finden ist; in zweiter Reihe soll es dem Eisenbahn-Bautechniker und Betriebsmanne zur Information über das dienen, was bei elektrischen Eisenbahnen specifisch ist, was die elektrischen Motoren als Ersatz für die Dampf-Locomotive zu leisten im Stande sind und wie die elektrische Kraft dabei gehandhabt werden muss. Deswegen war auch die Aufnahme einer kurzen Recapitulation aus den Grundlehren der elektrischen Induction und der elektrischen Kraftübertragung nöthig. Der Verfasser bittet bei der Beurtheilung der einzelnen Abschnitte den oben erwähnten doppelten Zweck des Buches in freundliche Berücksichtigung ziehen zu wollen.

Der zu so mannigfacher Entwickelung gelangte Verkehr auf den Dampf-Eisenbahnen hat uns gelehrt, an jedes Beförderungs-System genau präcisirte Anforderungen zu stellen. Wir werden aber noch viele Mühe

verwenden müssen, noch langjähriger Erfahrungen bedürfen, bis wir auch bezüglich der elektrischen Eisenbahnen jenen Anforderungen mit Ergebnissen wissenschaftlich angestellter Experimente, systematisch betriebener Beobachtungen und statistisch geordneten Erfahrungs-Resultaten wohl ausgestattet gegenüberstehen.

Wenn daher der verehrte kritisirende Leser in vorliegenden Abhandlungen einiges von dem, was er zu erwarten sich berechtigt glaubt, nicht finden sollte, so möge der Grund hiervon in dem mangelhaften und ohnehin äusserst spärlich zur Verfügung gestandenen Materiale gesucht werden; wenn dagegen der Elektrotechniker einiges findet, was in anderen Werken viel eingehender und besser behandelt wurde, so möge er diesen Versuch des Verfassers, das Verständniss solcher Partien auch den in der Elektricitäts-Lehre weniger Bewanderten zu erleichtern, wohlwollend beurtheilen.

**J. Krämer.**

# Inhalt.


| | Seite |
|---|---|
| Vorwort | V |
| Inhalt | VII |
| Illustrations-Verzeichniss | X |
| Literatur | XII |
| Die elektrischen Einheiten | XIII |
| Einleitung | 1 |
| I. Allgemeines über Eisenbahnbau | 7 |
| Secundär-, Local-, Vicinal-, Montan-, Industrie-, Interims-Bahnen. — Secundärbetrieb. — Stadteisenbahnen. — Project. — Vorconcession. — Finanzirung. — Concession. — Baarvergebung. — Regiebau. — Bau, nach Branchen vertheilt. — Entreprise-Bau. | |
| II. Ermittelung der Terrain-Verhältnisse | 16 |
| Traciren. — Stationirung. — Curvenabstecken. — Messen des Tangenten-Winkels, — der Tangente, — des Radius. — Berechnen des Tangenten-Winkels, — der Tangente, — des Radius. — Abstecken der Bogen-Punkte. — Nivelliren. — Die wichtigsten Maasse. — Definition einiger gebräuchlicher Begriffe. — Allgemeine Sätze und Rücksichten bei der Trace-Bestimmung. — Längen- und Querprofile. | |
| III. Der Unter-, Ober- und Hochbau | 37 |
| Verschiedene Schienen-Profile. — Der Unterbau. — Der Oberbau. — Das eiserne Kleinmaterial. — Das Stuhlschienen-System. — Die Schienen-Befestigung. — Quer- und Lang-Schwellen. — Das Biegen der Schienen. — Die normalen Spurerweiterungen. — Die Ueberhöhung der Schienen in Curven. — Weichen und Drehscheiben. — Hochbau. — Maschinenhaus. — Wagenremisen. — Wärter-, Signal- und Warte-Buden. | |

Seite

**IV. Recapitulation einiger Grundlehren über Inductions-Elektricität und Magnetismus** . . . . . . . . . . 55

Faraday. — Intensitäts- und Quantitäts-Ströme. — Das Lenz'sche Gesetz. — Volta-Induction. — Extra-Current. — Magnetismus. — Häcker's Formeln. — Elektromagnetismus. — Vergleichung elektromagnetischer Kräfte. — Magneto-Induction. — Elektromotorische Inductions-Kraft. — Inductions-Maximum. — Verschiedene Constructions-Principien für Magneto-Inductions-Apparate.

**V. Magneto-elektrische und Dynamo-elektrische Maschinen** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 79

Die vier Inductions-Phasen. — Erklärung der Function einer elektrischen Maschine. — Ableitung der in der Maschine erregten Elektricität. — Magneto-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen. — Das elektro-dynamische Princip. — Beschreibung einer grossen Gramme-Maschine. — Verschiedene Constructionen der Armaturen. — Deren Vortheile und Nachtheile. — Wechselstrom-Maschinen. — Die Constanten elektrischer Maschinen. — Ohm's Gesetz. — Elektromotorische Kraft einer Maschine, — deren innerer Widerstand. — Ermittelung der Windungszahl und der Windungsschichten. — Maximum des Strom-effectes. — Joule'sche Gesetz. — Funkenbildung am Collector. — Tourenzahl. — Constructions-Bedingungen für Dynamo-Maschinen.

**VI. Die elektrische Kraftübertragung** . . . . . . . . . 101

Aufgabe bei der Construction elektrischer Motoren. — Motoren System: Forment, Deprez, Bürgin. — Motor System Stahl. — Erklärung der Kraftübertragung mittelst Dynamo-Maschinen. — Der Nutzeffect. — Theorie für Distanzbestimmung zur Kraftübertragung, — a) mit dünnen Drähten, — b) mit getheilten Maschinen. — O. Frölich's Vortrag am 23. Jänner 1883. — Graphische Darstellungen des Nutzeffectes — verschiedener Strom-stärken — und Widerstände. — Der Prony'sche Zaum. — Das von Hefner-Alteneck'sche Dynamometer. — Accumulatoren. — Ladung derselben. — Kraftaufwand und Kraftrückgewinn bei Accumulatoren. — Kraftüber-tragung mittelst Accumulatoren.

**VII. Die Gesammt-Anordnung einer elektrischen Eisenbahn** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 157

Uebersicht der Zusammenstellung. — Situation des

Seite

Generators. — Schaltungs-Schemata für eingeleisige, — für zweigeleisige Bahnen. — Widerstände beim Rollen der Fahrzeuge. — Ermittelung der nöthigen Kraft, — der Geschwindigkeit, — der mechanischen Leistung — und des Seitendruckes der Räder. — Die zulässige Geschwindigkeit in Curven. — Signalanlagen. — Bahnbetrieb mittelst Accumulatoren. — Das Administrative des elektrischen Bahnbetriebes. — Entwurf einer Fahrordnung.

**VIII. Ueber Dampfmaschinen, Dampfkessel und Transmissionen zum Betriebe elektrischer Maschinen** . 190

Compound-Maschinen. — Verschiedene Systeme von Rotations-Maschinen. — Ueber Dampfkessel. — Transmissionen. — Verwendung von Wasserkraft zum Betriebe von Dynamo-Maschinen.

**IX. Die Leitung der Elektricität zum Zwecke des elektrischen Bahnbetriebes** . . . . . . . . . . . . . . 210

Die Laufschienen als Elektricitäts-Leitung. — Die Schienen-Isolirung. — Luftleitungen mit Contactwagen. — Material für derartige Leitungen. — Die Träger der Leitung. — Die Contactwagen. — Andere Leitungs-Systeme für elektrische Eisenbahnen. — Formeln für Leitungs-Durchhang, — für die Spannung der Drähte.

**X. Die Eisenbahn-Fahrzeuge** . . . . . . . . . . . 231

Allgemeine Constructions-Bedingungen. — Eintheilung nach der Beschaffenheit des Wagenkastens. — Verschiedene Wagen-Constructionen. — Eintheilung der Sitzplätze. — Stehplätze. — Die Räder. — Die Achsen. — Das Wagen-Untergestelle. — Der Wagenkasten, — dessen Bestandtheile. — Dimensions-Bestimmungen. — Uebertragung der Kraft vom Receptor auf die Wagenachsen. — Leitung der Elektricität im Wagen. — Die Contact-Hersteller. — Das Vorwärts- und Rückwärtsfahren. — Die elektrische Wagen-Beleuchtung.

**Anhang** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 258

**Index** . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 265

# Illustrations-Verzeichniss.


| Fig. | | Seite |
|---|---|---|
| 1—8. | Geometrische Figuren über Eisenbahnbau | 28 |
| 9. | Normalprofil des lichten Raumes bei Eisenbahnen | 31 |
| 10. | Querprofil eines Bahnüberganges | 34 |
| 11—22. | Verschiedene Schienen-Profile | 39 |
| 23. | Querprofil eines Bahneinschnittes | 41 |
| 24—25. | Schienenbefestigungen | 43 |
| 26. | Schienenstuhl | 43 |
| 27—28. | Quer- und Langschwellen-System | 43 |
| 29. | Weichen-Situation | 48 |
| 30. | Weichen-Detail-Situation | 49 |
| 31. | Herzstück einer Weiche | 49 |
| 32. | Drehscheibe | 50 |
| 33. | Wartehalle | 54 |
| 34. | Volta-Inductions-Schema | 59 |
| 35. | Inductions-Apparat Dubois-Reymond | 60 |
| 36. | Apparat zum Nachweis der Extraströme | 62 |
| 37. | Schnitt eines Elektromagneten | 68 |
| 38. | Schema der elektromagnetischen Polarität | 70 |
| 39. | Magnetinductor mit fixen Spulen | 73 |
| 40. | Magnetinductor von Pixii | 74 |
| 41. | Magnetinductor mit beweglichen Spulen | 75 |
| 42. | Magnetinductor von Stöhrer | 76 |
| 43—44. | Magnetinductor, Siemens & Halske | 77 |
| 45. | Querschnitt eines solchen | 78 |
| 46. | Magnetelektrische Maschine von Wilde | 78 |
| 47—50. | Die vier Inductions-Phasen | 80 |

| Fig. | | Seite |
|---|---|---|
| 51. | Constructions-Schema der magnetelektrischen Maschine . . . | 81 |
| 52. | Schema der Ableitung von der Armatur . . . . . . . . . | 82 |
| 53. | Magnetelektrische Maschine von Gramme . . . . . . . . | 83 |
| 54. | Schema einer dynamo-elektrischen Maschine . . . . . . . | 85 |
| 55. | Dynamo-elektrische Maschine von Gramme . . . . . . . | 86 |
| 56. | Motor System Froment . . . . . . . . . . . . . . . . | 102 |
| 57. | Motor System Deprez . . . . . . . . . . . . . . . . | 103 |
| 58—59. | Motor System Bürgin . . . . . . . . . . . . . . | 104 |
| 60—64. | Motor System Stahl . . . . . . . . . . . . . . . | 107 |
| 65. | Schaltung zur Kraftübertragung . . . . . . . . . . . . | 113 |
| 66. | Kabelquerschnitt . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 126 |
| 67. | Noch eine Schaltung zur Kraftübertragung . . . . . . . . | 130 |
| 68—72. | O. Frölich's graphische Darstellung elektr. Vorgänge | 135 |
| 73a. | Bremsdynamometer von Prony . . . . . . . . . . . . | 144 |
| 73b. | Bremsdynamometer von v. Hefner-Alteneck . . . . . . . | 145 |
| 74. | Secundär-Element . . . . . . . . . . . . . . . . . | 149 |
| 75—77. | Schemata zur Ladung von Secundär-Elementen . . . . | 152 |
| 78—81. | Gesammt-Schemata der Anordnung bei elektr. Bahnen | 160 |
| 82. | Brotherhood's Dreicylinder-Motor . . . . . . . . . . . . | 198 |
| 83. | Rotations-Motor System Dolgoruki . . . . . . . . . . . | 200 |
| 84. | Rotations-Motor System König . . . . . . . . . . . . . | 201 |
| 85—89. | Aufhänge-Vorrichtungen für elektrische Leitungen . . | 217 |
| 90—91. | Contactwagen . . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 222 |
| 92. | Bild einer elektrischen Eisenbahn . . . . . . . . . . . | 225 |
| 93—95. | Wagen für 18 Sitzplätze . . . . . . . . . . . . . . | 234 |
| 96—98. | Wagen für 20 Sitzplätze . . . . . . . . . . . . . . | 235 |
| 99. | Wagen mit Imperial für 46 Sitzplätze . . . . . . . . . | 236 |
| 100. | Radkranz-Profile . . . . . . . . . . . . . . . . . . | 240 |
| 101. | Räderpaar mit Achse . . . . . . . . . . . . . . . . | 241 |
| 102. | Wagenachse mit Receptor . . . . . . . . . . . . . . | 249 |
| 103.<br>104. | Uebertragung der Kraft vom Receptor auf die Wagenachsen | 250<br>251 |
| 105. | Contact-Herstellung mittelst Kurbel . . . . . . . . . . . | 255 |

# Benutzte Literatur.

R. Ferrini, Technologie der Elektricität.

Heusinger von Waldegg, Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

F. Schima, Studien und Erfahrungen im Eisenbahnwesen.

A. J. Susemihl, Handbuch des Eisenbahn-Bauwesens.

Engelhard's autographirte Vorträge.

L. Weidenbach, Compendium der elektrischen Telegraphie.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

Zeitschriften: Elektro-technische Zeitschrift. — Centralblatt für Elektrotechnik. — Engineering. — L'Electricité. — L'Electricien.

# Elektrische Einheiten.

**Maass-Einheiten, welche zu elektrischen Messungen dienen.**

I. Die absoluten oder C. G. S. (Centimeter-Gramm-Secunde-) Einheiten.

1. Längeneinheit: 1 Centimeter.

2. Zeiteinheit: 1 Secunde.

3. Krafteinheit. Die Krafteinheit ist diejenige Kraft, welche für eine Secunde lang auf eine frei bewegliche Masse eines Cubikcentimeters Wasser ($4^0$ Cels.) wirkend, dieser Masse eine Geschwindigkeit von 1 Centimeter per Secunde verleiht.

4. Die Arbeitseinheit ist die Arbeit, welche von der Krafteinheit verrichtet wird, wenn dieselbe die Entfernung von 1 Centimeter zurücklegt. Diese Einheit ist in Paris = 0·00101915 Centimeter-Gramm, oder mit andern Worten, um das Gewicht eines Grammes einen Centimeter hoch zu heben, sind 980.868 Krafteinheiten nöthig.

5. Die Einheit der elektrischen Quantität ist diejenige Quantität von Elektricität, welche auf eine gleich grosse Quantität, die einen Centimeter weit entfernt ist, eine Kraft gleich der Krafteinheit ausübt.

6. Die Einheit des Potentials oder der elektromotorischen Kraft existirt zwischen zwei Punkten, wenn die Einheit der elektrischen Quantität bei ihrer Bewegung von dem einen Punkte zum andern die Krafteinheit gebraucht, um die elektrische Abstossung zu überwinden.

7. Die Widerstandseinheit ist die Einheit, welche nur einer Quantitätseinheit den Uebergang zwischen zwei Punkten, zwischen welchen die Potentialeinheit existirt, in einer Secunde gestattet.

II. Die sogenannten **praktischen** Einheiten für elektrische Messungen.

1. Weber, Einheit der magnetischen Quantität $= 10^8$ C. G. S. Einheiten
2. Ohm [1] » des Widerstandes $= 10^9$ » »
3. Volt [2] » der elektromotor. Kraft $= 10^8$ » »
4. Ampère [3] » » Stromstärke $= 10^{-1}$ » »
5. Coulomb [4] » » Quantität $= 10^{-1}$ » »
6. Watt [5] » » Kraft $= 10^7$ » »
7. Farad » » Capacität $= 10^{-9}$ » »

---

[1] 1 Ohm ist gleich 1·0493 Siem. Einh. und etwa gleich dem Widerstande von 48·5 Meter reinen Kupferdrahtes von einem Durchmesser von 1 Mm. bei einer Temperatur von 0° Celsius.

[2] Ein Volt ist 5—10% weniger als die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes.

[3] Der Strom, welcher durch die elektromotorische Krafteinheit, die Widerstandseinheit in einer Secunde zu durchfliessen im Stande ist, ist = 1 Amp.

[4] Coulomb heisst jene Quantität der Elektricität, welche per Secunde ein Ampère giebt.

[5] 1 Watt = Ampère × Volt. 1 H. P. (horse power) $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt}}{746}$

1 Cheval de vapeur $= \frac{\text{Amp.} \times \text{Volt.}}{735.}$ = P. S. (Pferdestärke.)

## Widerstandseinheiten.*)

| Name der Einheit | CS$^{-1}$ | Ohm | Siemens | Deutsche Meile Draht 4 mm. | Franz. Meile Draht 7mm. | Engl. Meile Kupferdr. 1·6 mm. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CS$^{-1}$ | 1 | $10^{-9}$ | $1,05 . 10^{-9}$ | $18 . 10^{-12}$ | $105 . 10^{-12}$ | $74 . 10^{12}$ |
| Ohm | $10^9$ | 1 | 1,05 | 0,018 | 0,105 | 0,074 |
| Siemens | $95 . 10^7$ | 0,95 | 1 | 0,017 | 0,1 | 0,071 |
| Deutsche Meile | $57 . 10^9$ | 57 | 60 | 1 | 6 | 4,26 |
| Franz. Meile | $95 . 10^8$ | 9,5 | 10 | 0,17 | 1 | 0,71 |
| Engl. Meile | $13414 . 10^6$ | 13,414 | 14,12 | 0,235 | 1,41 | 1 |

## Stromeinheiten.*)

| Name der Einheit | C G S | Ampère | Daniell Siemens | Jacobi per Min. | Silber mg per Min. | Kupfer mg. per Min. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C G S | 1 | 10 | 8·5 | 105·2 | 676·5 | 198·6 |
| Ampère | 0·1 | 1 | 0 85 | 10·52 | 67·65 | 19·86 |
| Daniell : Siemens | 0·117 | 1·17 | 1 | 12·31 | 78·95 | 23·23 |
| Jacobi | 0·958 | 0 095 | 0·082 | 1 | 6·4 | 1·89 |
| Silber mg | 0·148 | 0·015 | 0·013 | 0·156 | 1 | 0·294 |
| Kupfer mg | 0·502 | 0·050 | 0.043 | 0·529 | 3·41 | 1· |

---

*) Uppenborn, IV. B. 7.

Die

# ELEKTRISCHE EISENBAHN.



# Einleitung.

Wenn es auch verfrüht wäre zu behaupten, dass den elektrischen Eisenbahnen im Reiche der Transportmittel die Zukunft gehöre, so kann doch mit einiger Berechtigung vorausgesehen werden, dass dieses neueste Beförderungs-System schon in allerkürzester Zeit in vielen Fällen mit Erfolg und Vortheil zum Transport von Personen und Sachen angewendet werden wird.

Die Fragen: Ja, wie ist denn das eigentlich mit dieser elektrischen Eisenbahn, und wie wird sie betrieben? tauchen immer häufiger auf, und ist deren Beantwortung nicht so leicht, als es den Anschein hat. Die Dampfmaschine und deren Function zu erklären, verursacht heute keine Schwierigkeiten mehr. Die Erzeugung, Spannung, Expansionsfähigkeit, Schnelligkeit und Kraft des Wasserdampfes kann jedem Laien erklärt und zum Verständnisse gebracht werden. Die Ausnützung der Kraft des Wasserdampfes durch mechanische Anordnungen wird unter civilisirten Völkern als eine selbstverständliche Sache angesehen.

Ganz anders ist es bei der elektrischen Kraftübertragung und insbesonders bei den auf diesem Principe beruhenden elektrischen Eisenbahnen.

Bei Beantwortung der oben gestellten Fragen muss die genaue Kenntniss der elektro-dynamischen Maschine, der Principien der elektrischen Kraftübertragung und daher auch eine umfassende Kenntniss der Elektricitätslehre überhaupt vorausgesetzt werden, und diese Kenntnisse — das muss man sich offen eingestehen — findet man heutzutage, trotz allseitigen, eifrigen Studirens der Physik, nicht allzuhäufig.

Wenn nun auch im vorliegenden Buche die Grundlehren aus dem Gebiete der Elektricität und des Magnetismus als bekannt vorausgesetzt werden müssen, so wird doch auch hier das Wichtigste über die Theorie der elektrischen Kraftübertragung, beziehungsweise der elektrodynamischen Maschinen so weit mit aufgenommen und behandelt werden, dass das Buch, getreu dem ausgegebenen Programm der Elektro-technischen Bibliothek, als ein abgeschlossenes Ganzes betrachtet werden kann. Das Studium des IX., I. und II. Bandes der eben citirten Bibliothek soll aber der Lectüre des vorliegenden XVII. Bandes jedenfalls vorausgehen, wenn man sich mit den dort enthaltenen Darstellungen nicht etwa schon auf anderem Wege vertraut gemacht hat.

Bereits in den Dreissiger-Jahren hatte Davidson eine elektrische Locomotive für den Eisenbahnbetrieb, allerdings ohne praktisches Resultat, construirt. Hierauf ruhten scheinbar die Bestrebungen, elektrische Kräfte zu schwerer Arbeit heranzuziehen, denn diejenigen, welche an der Lösung dieses Problems arbeiteten, hüteten sich ihre missglückten Experimente zur Kenntniss des Publikums zu bringen, immer hoffend letzteres mit einem Erfolge überraschen zu können. Fast unvermittelt, aber mit bestem

Resultate wurde die erste elektrische Eisenbahn von der Firma Siemens & Halske in Berlin im Jahre 1879 anlässlich der Berliner Gewerbe-Ausstellung ausgeführt. Dieselbe war schmalspurig, 300 Mtr. lang, und erregte das allgemeine Interesse auf das Lebhafteste. Wäre der Weltruf dieser im Gebiete sowohl der theoretischen als auch der angewandten Elektricitätslehre sehr verdienstvollen Firma damals nicht schon begründet gewesen, durch jene Aufstellung der ersten elektrischen Eisenbahn wäre er es geworden.

Ein Jahr darauf wurde bei der Wiener Gewerbe-Ausstellung von der Firma B. Egger in Wien eine elektrische Eisenbahn aufgestellt, die ebenfalls anstandslos functionirte, und von da an gab es wohl selten eine Gewerbe- oder Industrie-Ausstellung mehr, bei welcher nicht das Interesse an derselben durch eine elektrische Eisenbahn, oder mindestens durch das Modell einer solchen erhöht worden wäre. Die Einführung dieses neuen Communicationsmittels in die Praxis ist jedoch nicht so rasch gegangen, als man anzunehmen sich berechtigt glaubte. Die Möglichkeit des elektrischen Bahnbetriebes wurde experimentell gezeigt und theoretisch bewiesen, es wurde der Nachweis zu erbringen versucht, dass der elektrische Betrieb einer Bahn weniger Kosten verursacht als der Betrieb mit animalischer oder Dampfkraft; die Finanziers verhielten sich allen diesen Argumenten gegenüber reservirt, und war am Anfange des Jahres 1883 noch immer keine grössere elektrische Eisenbahn im Betrieb. Man muss die Opferwilligkeit der Firma Siemens & Halske anstaunen, die im Jahre 1881 aus eigenen Mitteln eine 2540 Mtr. lange elektrische Eisenbahn in Berlin vom Anhalter Bahnhofe

nach Gr. Lichterfelde ohne Aussicht auf irgend einen Gewinn erbaute und im regelmässigen Betriebe erhielt, Diese Bahn wurde von der genannten Firma erbaut. nachdem das Project einer elektrischen Hochbahn, das Dr. Werner Siemens den Berliner Stadtbehörden vorlegte, von diesen abgelehnt worden war.

Bei der Pariser elektro-technischen Ausstellung im Jahre 1881, dieser für die Entwickelung der Elektrotechnik ewig denkwürdigen Zeit, hat die mehrgenannte Weltfirma eine elektrische Musterbahn von der Place de la Concorde bis zum Palais de l'Industrie erbaut. Oberbau und Wagen dieser Bahn waren nach dem Normale der Pariser Tramway ausgeführt, und diese Anlage dürfte es gewesen sein, welche sowohl Laien als Fachmännern die Ueberzeugung aufdrängte, dass die elektrischen Bahnen berufen sind, vorläufig schon, wenigstens im Secundär-Betriebe, eine Rolle zu spielen, und dass von deren Entwickelung in der Hinkunft noch manche angenehme Ueberraschung erwartet werden darf.

Im Nachstehenden soll nun in chronologischer Reihenfolge das ausgeführt werden, was beim Baue und Betriebe einer elektrischen Eisenbahn zu wissen nöthig ist und berücksichtigt werden muss.

Wenn dabei auch kein specieller Fall ins Auge gefasst wurde, so wird doch von dem Erfahrungssatze ausgegangen, dass es nach dem heutigen Stande der Elektrotechnik nicht rathsam ist, die elektrische Kraftübertragung zum Zwecke eines Bahnbetriebes auf weiter als zwei Kilometer zu erstrecken. Mehr ist auch nicht nöthig, denn es wird sich zeigen, dass schon bei einer solchen Anordnung die Kosten dieses Betriebes geringer

sein werden, als die eines jeden anderen. Wenn also in der Folge nicht andere bestimmte Angaben gemacht werden, so ist bei den Ausführungen dieses Buches immer eine vier Kilometer lange Eisenbahn gemeint, bei welcher der Motor in der Mitte situirt ist, der den elektrischen Strom nach beiden Seiten zwei Kilometer weit entsendet.

Falls eine elektrische Eisenbahn projectirt ist, so werden wohl vor Allem die Chancen des Bedürfnisses zu erwägen sein. Ist das geschehen, wird man die Höhe des nöthigen Baucapitals approximativ zu ermitteln haben, sodann sind die Betriebskosten zu berechnen, um die Rentabilität des Unternehmens beurtheilen zu können.

Ist die Rentabilitäts-Berechnung zufriedenstellend, so wird man vorerst bei den Behörden um die Bewilligung zur Vornahme der technischen Vorarbeiten ansuchen müssen. Wenn nun die letzteren beendet sind, auf Grund derselben das Project verfasst und die Finanzirung des Unternehmens gesichert ist, so kann um die Concessionirung der elektrischen Eisenbahn bei den entscheidenden Instanzen eingeschritten werden. Nach dieser chronologischen Reihenfolge der Arbeiten wurde das Materiale für das vorliegende Buch eingetheilt, und werden allgemeine Bemerkungen über Bau und Betrieb derartiger Transport-Unternehmungen beigefügt.

Wenn auch die erreichbare Fahrgeschwindigkeit bei elektrischen Eisenbahnen eine sehr respectable sein könnte, so wird man doch bei Anlage solcher Bahnen berücksichtigen müssen, dass dieselben heutzutage noch immer unter die sogenannten Local-, Secundär- oder Vicinal-Bahnen einzureihen sind, und daher beim Baue und Betriebe jene technischen Bestimmungen, Gesetze und Verord-

nungen gelten, die in den betreffenden Ländern für derartige Unternehmungen erlassen worden sind. Diese Verordnungen gestatten gewöhnlich keine grössere Geschwindigkeit als 20—30 Km. per Stunde. Es wird sich auch bei elektrischen Eisenbahnen empfehlen, die sogenannte »normale Spurweite« (lichte Entfernung der beiden Schienenköpfe 1·43 Mtr.) zu wählen, wenngleich es nicht nöthig ist, den Oberbau, d. h. jene Theile, die vom Erdkörper der Bahn getragen werden, also Schwellen, Schienen und das dazu gehörige Befestigungs-Materiale von gleicher Stärke wie bei Normalbahnen zu verwenden, weil auf diesem Oberbaue nie derartige Lasten wie Dampf-Locomotiven befördert werden; sollte dies aber in speciellen Fällen dennoch in Aussicht genommen sein, so sind die Dimensionen des Oberbaues nach dem Gewichte der Dampf-Locomotive zu wählen. Wenn auch die Anlage grösserer elektrischer Eisenbahnen, selbst vom Standpunkte der Rentabilität betrachtet, heute kein gewagtes Unternehmen genannt werden kann, so wird es sich doch empfehlen, die Resultate der allseitig mit fieberhafter Energie betriebenen Forschungen und Experimente über elektrische Kraftübertragung abzuwarten, bevor ein endgiltiges Urtheil über den Grad der Verwendbarkeit elektrischer Eisenbahnen mit Sicherheit abgegeben werden kann.

Eines steht aber fest:

Der elektrische Betrieb wird in Hinkunft bei Anlage **jeder** neuen Secundär-Eisenbahn in Erwägung und Berechnung gezogen werden müssen, und das ist ein Resultat, über das wir herzlichste Freude empfinden können, ein Fortschritt, auf

den wir stolz sein dürfen, eine Erweiterung unserer technischen Hilfsmittel, die wir uns nicht so schnell erreichbar gedacht haben.

---

## I.

## Allgemeines über Eisenbahn-Bau.

Secundär-, Local-, Vicinal-, Montan-, Industrie-, Interims-Bahnen. — Secundär-Betrieb. — Stadteisenbahnen. — Project. — Vorconcession. — Finanzirung. — Concession. — Bauvergebung. — Regiebau. — Bau nach Branchen vertheilt. — Entreprisebau.

Wie oben erwähnt, ist die Zeit noch nicht gekommen, den elektrischen Betrieb für Hauptbahnen in Aussicht zu nehmen, es steht aber fest, dass ein solcher Betrieb für Secundär-, Local- und Vicinal-Bahnen in vielen Beziehungen empfehlenswerth sein dürfte, und es wird die Elektricität in vielen Fällen auch bei Montan-, Industrie-, Material- und Interims-Bahnen die motorische Kraft vortheilhaft vermitteln und vertheilen. Hat man bei all' diesen Eisenbahnarten die primäre Kraft umsonst (Wassergefälle etc.), so wird der elektrische Betrieb minimale Kosten verursachen; aber selbst wenn eigene Motoren (Dampf, Gas) aufgestellt werden müssen, können sich die Betriebskosten gegenüber denen bei Dampfeisenbahnen unter Umständen so gering stellen, dass dem elektrischen Betriebe vom Kostenstandpunkte aus unbedingt der Vorzug eingeräumt werden muss.

Es dürfte sich empfehlen hier die allgemeinen gebräuchlichen Begriffe für die Bezeichnung der verschiedenen Eisenbahnarten zu fixiren.

1. Secundär-Bahnen nennt man Bahnstrecken, die mit leichten Maschinen und Fahrbetriebsmitteln befahren werden, und deswegen auch nur einen leichteren Oberbau benöthigen. Bei derartigen Anlagen sieht man vor Allem auf eine möglichst billige Herstellung, was ausser der schon erwähnten Verwendung schwächeren Oberbaues und leichterer Fahrbetriebsmittel auch noch durch Weglassung jeder durchgehenden Signalisirung, aller Wegschranken, Einfriedungen, durch möglichste Anschmiegung an das Terrain und sehr einfache Stationseinrichtungen, oft auch durch Anwendung einer geringeren Spurweite (meistens 1·00 Mtr. oder 0·75 Mtr.) erreicht wird. Bei solchen Bahnen sind stärkere Neigungen und schärfere Curven gestattet, wodurch allerdings auch die Fahrgeschwindigkeit eine geringere als bei Hauptbahnen werden muss. Von Bahnen, deren Anlage nach vorstehenden Principien ausgeführt ist, und dem entsprechend betrieben werden, sagt man, sie stehen im Secundär-Betriebe.

Neuerer Zeit richtet man auch, in richtiger Erkenntniss der Bedürfnisse, Bahnstrecken, bei deren Anlage man auf Normal-Betrieb reflectirte, für Secundär-Betrieb ein, in welchen Fällen die für Normal-Betrieb geltenden Bestimmungen so viel als möglich nach den im vorstehenden Absatze zur Darstellung gebrachten Principien restringirt werden müssen.

2. Local-Bahnen sind solche, die den Verkehr zwischen Hauptbahnen, oder zwischen Hauptbahnen und einzelnen Ortschaften oder Länderstrecken vermitteln.

3. Vicinal-Bahnen haben einen ähnlichen Zweck wie die sub 2 sumirten, doch werden Vicinal-Bahnen auch ohne Rücksicht auf Anschlüsse an Hauptbahnen, unter theilweiser oder gänzlicher Benützung vorhandener Landes- oder Bezirksstrassenkörper erbaut.

Local-Bahnen stehen meistens, Vicinal-Bahnen immer im Secundär-Betriebe.

4. Montan-Bahnen oder Förder-Bahnen sind in mehreren Bergwerken Sachsens bereits für elektrischen Betrieb eingerichtet, und eignen sich in Verbindung mit verticalen Förderschächten, beziehungsweise elektrischen Aufzügen vorzüglich zur Wegschaffung des Materiales beim Bergbau.

Die Bedeutungen der Ausdrücke Industrie-, Material- und Interims-Bahnen erklären sich wohl von selbst.

Für letztere, sowie für Montan-Bahnen, wo der Betrieb ausschliesslich nach dem Bedürfnisse und nicht nach bestimmten Fahrordnungen geregelt wird, die zudem meistens Privateigenthum eines Einzelnen sind und dem Publikum nicht zur allgemeinen beliebigen Benützung oder Verfügung stehen, sind auch noch keine besonderen Gesetze erlassen worden, und hat man beim Betriebe derselben nur jene allgemeinen Bestimmungen zu beachten, welche zum Schutze der Sicherheit des Eigenthums und der Personen aufgestellt wurden.

Für Bahnen mit Secundär-Betrieb bestehen in den meisten civilisirten Ländern bereits besondere Gesetze und Verordnungen.

Bei der Anlage von Secundär-, Local-, Vicinal-Bahnen wird man immer gut thun, die technischen Vereinbarungen

des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen möglichst zu berücksichtigen, da dies bei einer etwaigen Umwandlung in eine Bahn mit Normal-Betrieb nur von Nutzen sein kann.

Für Stadteisenbahnen wird sich die Einführung des elektrischen Betriebes wegen mancherlei specieller Vortheile ganz besonders eignen.

Diesbezüglich ist zu erwägen, dass beim elektrischen Betriebe die Rauchentwickelung auf einzelne Punkte, wo die Motoren aufgestellt sind, beschränkt und da auf ein nicht belästigendes Minimum reducirt werden kann.

Dieser Betrieb verursacht auch gar kein aufdringliches Geräusch, ja sogar die akustischen Signale, die bei Strassenbahnen in den Städten so lästig und für unsere nervösen Zeitgenossen eine wahre Pein sind, können wesentlich verringert werden, wenn die Bahn als Tief- oder Hochbahn angelegt wird, was sich überall empfiehlt, wo es auf eine verhältnissmässig geringe Vergrösserung des Anlagecapitals nicht ankommt. Bezüglich des Besitzes und der Leitung des Betriebes können die Eisenbahnen auch noch in Staats- und Privatbahnen, in Staatsbahnen im Privatbetriebe und umgekehrt in Privatbahnen im Staatsbetriebe eingetheilt werden.

Beabsichtigt ein Interessent oder ein Consortium von mehreren Interessenten oder Unternehmern den Bau einer Eisenbahn, so haben sich dieselben nach Feststellung des generellen Projectes vorerst an die betreffende Regierung um Bewilligung zur Vornahme technischer Vorarbeiten zu wenden.

Unter generellem Project versteht man in diesem Falle nichts weiter als einen Situationsplan, in dem die projectirte Eisenbahnlinie grell auffallend eingezeichnet ist.

Ist diese Bewilligung erfolgt, so hat man die Richtungs- und Steigungsverhältnisse, die Curven, die nöthigen Bauobjecte (Brücken, Durchlässe, Tunnels etc.) der projectirten Bahn genau zu ermitteln; man muss sich ferner über die zweckmässigste Bauführung, Ausrüstung und die Art des Betriebes der künftigen Eisenbahn ein klares Bild verschaffen und gehe dann erst daran die Baukosten zu ermitteln, um die Finanzirung einleiten zu können. Die Finanzirung einer Privatbahn — und nur von solchen soll hier die Rede sein — kann auf verschiedene Art erfolgen:

1. Hat der Interessent oder haben die Interessenten beziehungsweise Unternehmer das nöthige Capital selbst zu dem geplanten Unternehmen disponibel, so wird die Finanzirung keine Schwierigkeiten verursachen.

2. Besteht der sub 1 aufgeführte angenehme Fall nicht, so wird der Credit für das Unternehmen in Anspruch genommen werden müssen. Das kann wieder auf verschiedene Weise geschehen:

*a*) Ist eine einzige Persönlichkeit (ein Banquier, ein Bankinstitut etc.) geneigt, das erforderliche Capital zum projectirten Eisenbahnbau zu beschaffen, so ist die Finanzirung ebenfalls einfach. Dieser Fall wird allerdings nur bei kleineren Unternehmungen eintreten können.

*b*) Es kann auch ein Consortium von Finanziers oder Banken die Geldbeschaffung besorgen, wobei die nöthigen Stipulationen durch die localen Verhältnisse, durch den jeweiligen Zinsfuss etc. etc. bestimmt werden.

3. Wird man auf keinen der vorerwähnten Fälle reflectiren können, so erübrigt nur die Anrufung des öffentlichen Credits in der Form einer Ausgabe von Actien, eventuell auch noch von Prioritäten.

Actien sind Antheilscheine am Unternehmen, mittelst welcher man je nach Maass des Nominalwerthes, eventuell der geleisteten Einzahlung am Eigenthum des Unternehmens mit der Aussicht auf Gewinn, dann aber auch ohne Sicherung gegen Verlust partizipirt.

Prioritäts-Obligationen sichern ebenfalls den Anspruch auf das Eigenthum der Bahn, gewähren aber keinen Antheil am Gewinn, dagegen eine vor Allem gesicherte Verzinsung.

Ist das Project der Eisenbahn fertig und die Finanzirung gesichert, so werden die Staats- eventuell auch die Communal-Behörden um die Bewilligung (Concession) gebeten, mit dem Baue beginnen zu dürfen.

Diesem Concessionsgesuche muss das Project und der Finanzirungsplan beigelegt werden. Unter Project versteht man nachverzeichnete Collection von Ausführungen:

*a*) den Situationsplan. Für diesen ist zumeist ein genau bestimmtes Darstellungs-Verhältniss, gewöhnlich 1 : 25000, vorgeschrieben;

*b*) das Längenprofil;

*c*) die nöthigen Querprofile;

*d*) die Entwürfe über die grösseren Objecte;

*e*) die Normalien;

*f*) eine detaillirte Darstellung des projectirten Baumodus;

*g*) der Betriebsplan;

*h*) der Kostenvoranschlag;

*i*) eventuell die Rentabilitäts-Berechnung.

Unter »Normalien« versteht man Entwürfe von Objecten, die bei der Bahnanlage wiederholt errichtet

oder beschafft werden müssen, und die alle nach einer in vorhinein festgestellten Type ausgeführt werden.

Auf diese Eingabe erfolgt dann die definitive Concession, die dazu bestimmt ist, das Verhältniss der Unternehmer zu den Behörden, zu den Anrainern und gegenüber dem Publikum zu fixiren. Deswegen enthält eine derartige Concession ausser der formalen Bewilligung des Unternehmens auch die Bestimmungen über:

1. die Dauer der Concession (zumeist 30—90 Jahre);

2. die Bestimmung über den Motor (Pferde, Dampf, Elektricität, comprimirte Luft etc.);

3. specielle Anordnungen wegen der Bauführung;

4. Fixirung des Bautermines, beziehungsweise der Betriebseröffnung;

5. Normirung der Maximal-Tarife für den Personen- und Sachentransport;

6. die Concessionsurkunde verleiht zumeist das Expropriationsrecht, d. h. der Unternehmer wird ermächtigt den Baugrund eventuell zwangsweise erwerben zu dürfen.

Dieses Recht wird allerdings nur dort ertheilt, wo das projectirte Transport-Unternehmen eminent im öffentlichen Interesse als ein Bedürfniss bezeichnet werden kann;

7. sie gewährt ferner zumeist das Recht zur öffentlichen Ausgabe von Actien und Prioritäts-Obligationen; ferner

8. eventuelle Steuerfreiheit für die ganze Concessionsdauer oder nur für eine gewisse Frist;

9. möglicherweise auch Gebührenfreiheit bei Gründung einer Unternehmergesellschaft, bei Ausgabe von Schuldtiteln, bei allen Notariatsacten etc.;

10. enthält sie eventuelle Bestimmungen über Garantien eines Minimalerträgnisses und in diesem Falle auch Bestimmungen über die Amortisation des in der Concession fixirten Anlagecapitales.

11. Dagegen verpflichtet die Concession zur Anlage von Telegraphen-, eventuell Telephon- und etwaigen elektrischen Signalleitungen;

12. zur unentgeltlichen Postbeförderung;

13. zur Ueberlassung des Unternehmens an die Regierung nach einem bestimmten Zeitraume gegen zu vereinbarende Stipulationen.

14. Enthalten die meisten ertheilten Concessionen die Bestimmung, dass das betreffende Unternehmen nach Ablauf der Concessionsdauer lastenfrei und unentgeltlich dem Staate anheimfällt.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass einzelne Concessionen noch andere, oder einige von den vorangeführten Bestimmungen geändert enthalten; dies wird immer von den besonderen Verhältnissen des zu concessionirenden Unternehmens abhängen, und sind da wohl viele Varianten möglich.

Ist die Concessionirung erfolgt, so werden vor der Ausführung des Baues, diese betreffend, mehrere Möglichkeiten zu erwägen sein:

1. Es kann der Bau in eigener Regie bewirkt werden, d. h. der Unternehmer projectirt und führt den Bau selbst aus. Dieser Fall wird nur bei den seltensten Gelegenheiten zu empfehlen sein; der Regiebau sichert zwar eine besondere Solidität in der Ausführung, ist aber ausserordentlich theuer und insbesondere bei elektrischen Bahnen selten vollkommen durchführbar.

2. Der Bau kann ferner nach Baubranchen vergeben werden, und da wird es sich meistens empfehlen Unterbau, Oberbau und Hochbau einer Eisenbahn-Bauunternehmung, die Bestellung der Dampf- oder sonstigen Motoren einer Maschinenfabrik, ferner die elektrischen Einrichtungen einer Anstalt für Elektrotechnik zu übertragen, und wird es gut sein mit letzterer auch wegen Lieferung des rollenden Materiales überhaupt abzuschliessen.

3. Der Bau der Eisenbahn kann schliesslich einem einzigen Bauunternehmer gegen einen Pauschalbetrag übergeben werden, und nennt man dies »Bauvergebung mittelst General-Unternehmung«. Diese Art ist wohl die einfachste, zumeist aber nicht die empfehlenswertheste, wenn auch noch weiter zugestanden wird, dass diese Art der Bauausführung meistens die billigste sein dürfte.

4. Bei der Ausführung von elektrischen Bahnen dürfte heutzutage die Bauvergebung nach Bauloosen, d. h. die Eintheilung der Bahn in längere oder kürzere Strecken und Vergebung derselben an einzelne Unternehmer, noch kein Bedürfniss sein, da sich diese Art der Bauführung nur bei mehreren 100 Km. langen Eisenbahnen empfehlen kann.

Bei allen diesen Arbeitsvergebungen wird sich die Ausschreibung der freien Concurrenz vortheilhaft erweisen.

Im Vorstehenden wurde der Entwickelungsgang eines Eisenbahn-Unternehmens von der ersten Idee bis zum Baubeginn kurz entwickelt; in den nachstehenden Ausführungen sollen nun einzelne der aufgeführten Arbeiten näher beschrieben werden.

Eine vollständige Anleitung zum Baue selbst kann aber natürlich nicht in den Rahmen dieses Buches gepresst werden. Zur Ausführung des Baues wird man sich ja immer der Hilfe eines fachkundigen Ingenieurs bedienen müssen.

---

# II.

# Ermittelung der Terrain-Verhältnisse.

Traciren. — Stationirung. — Curvenabstecken. — Messen des Tangenten-Winkels, — der Tangente, — des Radius. — Berechnen des Tangenten-Winkels, — der Tangente, — des Radius. — Abstecken der Bogenpunkte. — Nivelliren. — Die wichtigsten Maasse. — Definitionen einiger gebräuchlicher Begriffe. — Allgemeine Sätze und Rücksichten bei der Tracebestimmung. — Zusammenstellen der Tracirungsbefunde. — Längen- und Querprofile.

Bei dem Project für eine Eisenbahn wird man vor Allem wünschen, die Trace in möglichst gerade Linien und in die Horizontale legen zu können. Beides ist nur selten möglich und man wird häufig von der geraden Richtung abweichen und eventuelle Boden-Erhöhungen oder Vertiefungen zu passiren haben. Die Messungen der letzteren und die Ermittelung der, durch diese bedingten Einbaue und Aufbaue zum Zwecke der Verminderung bedeutender Steigungen und Gefälle bewirkt man durch das »Nivelliren«.

Die Ermittelung der Länge, der Richtungsverhältnisse und der verbindenden Krümmungen einer Bahn geschieht durch das »Traciren«.

Ist die projectirte Bahnstrecke auf einer grossen Generalstabs-Karte, die man zu solchen Zwecken gegen specielles Ansuchen von den Militär-Behörden erhält, eingezeichnet, so kann man nach dieser die Trace markiren, indem man von 50 zu 50 Mtr. einen Pflock in die voraussichtliche Bahn-Mittellinie (Bahnachse) eintreibt. Je 100 Mtr. bilden eine Section (Station) und werden diese fortlaufend numerirt. Auf diese Weise wird die ganze Bahnlänge in geraden Linien abgesteckt und entstehen auf diese Art dort, wo sich die Richtung ändert, Winkel, die aus einem später ersichtlichen Grunde »Tangenten-Winkel« genannt werden.

Solange die Trace in einer Geraden liegt, bietet die Tracirung, beziehungsweise Bahnführung keine Schwierigkeiten; anders ist dies beim Uebergange von einer Richtung in eine andere, was natürlich mittelst möglichst flacher Krümmungen (auch Curven genannt) geschehen soll. Die Möglichkeit flacher Curven hängt in erster Reihe vom Tangenten-Winkel ab und soll daher letzterer möglichst stumpf sein, was insbesondere bei jenen elektrischen Eisenbahnen nöthig ist, wo die treibende Kraft dem Zuge mittelst eigener Contactwagen zugeführt wird.

Die Ermittelung dieser Curven soll im Nachstehenden für die einfachsten Fälle beschrieben werden; denn wenn auch die Tracirung zumeist einem geübten Ingenieur übergeben werden wird, so soll doch, der gestellten Aufgabe entsprechend, hier wenigstens so viel geboten sein, dass sich der Elektrotechniker, auch ohne Special-Kenntnisse im Eisenbahn-Baufache so weit informiren kann, dass ihm die Tracirung einer einfachen Bahnstrecke möglich ist.

Um also eine Curve abstecken zu können, muss vor allem der Tangenten-Winkel gegeben sein; dann hat man den Bogen-Anfangs- und Bogen-Endpunkt (Tangenten-Punkte genannt), sowie eventuell die Bogenmitte zu bestimmen, und endlich, wenn der Bogen ein Theil eines Kreises ist, was meistens der Fall sein wird, auch den Radius zu ermitteln.

Auf die Besprechung parabolischer Curven und Bögen in verschiedenen Nivellements kann hier nicht eingegangen werden, in solchen Fällen ist die Zuziehung eines Fachingenieurs unerlässlich.

»Tangenten-Winkel«, »Tangenten-Punkte« und »Radius« kann man die »Constanten der Curve« nennen, und werden nun folgende Fälle in der Praxis zumeist vorkommen:

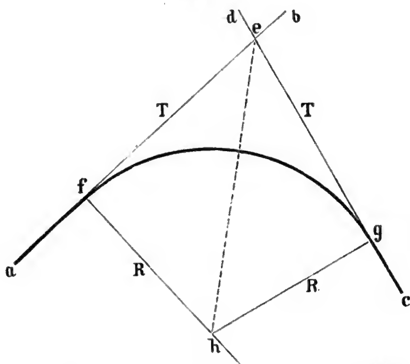
1. Der Tangenten-Winkel ist zugänglich,
2. der Tangenten-Winkel ist unzugänglich,
3. die Tangente ist bekannt,
4. die Tangente ist unbekannt,
5. der Radius ist bekannt,
6. der Radius ist unbekannt.

Unter »bekannt« sei im Vorstehenden (Punkt 3—6) der Fall verstanden, wenn die Grösse der Tangente oder des Radius mit der Messkette ermittelt werden kann. Kennt man nur zwei der Constanten, so wird sich die dritte leicht durch Rechnung ermitteln lassen.

Es sei in Fig. 1 $\sphericalangle\, aec$ der Tangenten-Winkel, d. h. $ab$ und $cd$ die sich in $e$ schneidenden Trace-Richtungen, $f$ und $g$ die Tangenten-Punkte, $hf \perp ab$ und $hg \perp cd$, ferner $ef = eg = T$ (Tangente), $fh = hg = R$ (Radius).

Der Winkel *a e c* wird, wenn der Scheitel zugänglich ist, leicht zu messen sein, wenn man einen Winkelmess-Apparat zur Verfügung hat. Ist letzteres nicht der Fall, so benützt man eine Methode der Constanten-Bestimmung, die später besprochen wird, und nach welcher man von der Kenntniss der Grösse des Winkels unabhängig ist. Ist der Scheitel übrigens nicht zugänglich,

Fig. 1.




so wird man die Grösse des Tangenten-Winkels auf folgende einfache Art ermitteln können:

In Fig. 2 seien *a b* und *c d* die beiden Trace-Richtungen, die sich im unzugänglichen Punkte *g* treffen. Man verbindet nun die beiden Schenkel *a b* und *c d* durch eine beliebige Gerade *e f*, und misst dann die $\sphericalangle\, a f e$ und $\sphericalangle\, c e f$.

Nun ist

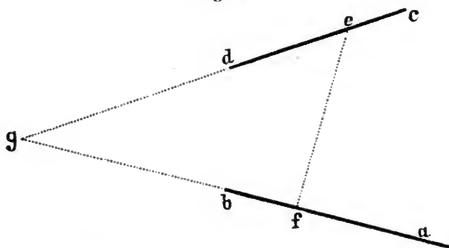
$$\sphericalangle\, g f e = 180^0 - \sphericalangle\, a f e$$
$$\sphericalangle\, g e f = 180^0 - \sphericalangle\, c e f.$$

Da jetzt in dem $\triangle\ g\,e\,f$ 2 Winkel gegeben sind, so ist der zu ermittelnde Tangenten-Winkel $e\,g\,f = 180^0 - (\sphericalangle\ g\,f\,e + \sphericalangle\ g\,e\,f)$.

Soll eine einfache kreisbogenförmige Curve vorläufig vom bestimmten Radius zwischen den Schenkeln eines bekannten Tangenten-Winkels abgesteckt werden, so wird man zuerst den Bogen-Anfangspunkt zu ermitteln haben.

Als Beispiel solcher Aufgaben und deren Lösung diene die Betrachtung folgender Fälle:

Fig. 2.




Es seien (Fig. 3) $a\,b$ und $c\,b$ die sich in $b$ schneidenden Richtungs-Linien, $\sphericalangle\ a\,b\,c$ der Tangenten-Winkel, welcher in diesem Falle $86^0\ 40'$ messen soll. Der Radius der Curve sei = 180 Mtr.

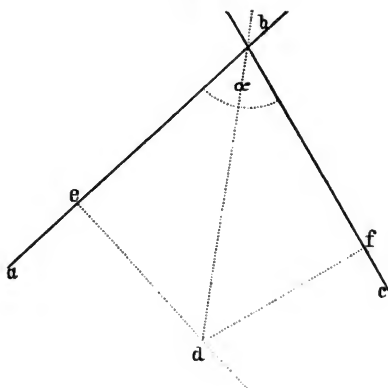
Man halbirt den Winkel $a\,b\,c$ durch die Linie $b\,d$ und sucht dann auf dieser den Punkt, von welchem die Normale auf die Schenkel $a\,b$ und $c\,d$ 180 Mtr. misst. Der Punkt $d$ ist sodann der Mittelpunkt des zu bestimmenden Kreisbogens.

In Wirklichkeit wird aber der Punkt $d$ nur selten auf diese Weise zu finden sein, und sucht man daher

besser durch Rechnung den Werth für $eb$, wodurch gleichzeitig auch jener für $bf$ gegeben ist, feststellen zu können.

Hiebei ist die Kenntniss der Winkelgrösse und der Länge des Radius vorauszusetzen. Ist die Aufgabe in Wirklichkeit gestellt, so zeichne man sich die Figur derart, dass die Aufgabe gelöst erscheint.

Fig. 3.




Dann ist also der Radius

$$R = ed = fd = 180 \text{ Mtr., ferner}$$

$$\measuredangle\, ebf = \alpha = 86^0\, 40'$$

$$\measuredangle\, ebd = \measuredangle\, fbd = 43^0\, 20'$$

und weil

$$\measuredangle\, deb = 90^0 \text{ so ist}$$

$$\frac{ed}{eb} = \text{tang}\ \frac{\alpha}{2} \text{ oder}$$

$$eb = \frac{ed}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{180}{\tan 43^0\,20'} = \frac{180}{0{\cdot}68624} = 262{\cdot}5 \text{ Mtr.}$$

Der Punct $e$ ist demnach als Bogen-Anfangspunkt 262·5 Mtr. vom Scheitel des Tangenten-Winkels entfernt.

Soll nun der Radius bestimmt werden, und sind die Grösse des Tangenten-Winkels und die Länge der Tangente gegeben, so ist wieder

$$\frac{ed}{eb} = \tan \frac{\alpha}{2} \text{ oder } R = eb \,.\, \tan \frac{\alpha}{2}$$

und letztere Formel auf obigen Fall angewendet

$$R = 262{\cdot}5 \times 0{\cdot}68624 = 180 \text{ Mtr.}$$

Betrachten wir nun den Fall, wenn der Tangenten-Winkel, dessen Scheitel zugänglich, aber unbekannt ist, gemessen werden soll.

Man verlängere (Fig. 4) den Schenkel $ab$, verbinde dann 2 gleiche Theile der Schenkel $db$ und $cb$ durch eine Linie $ef$, von deren Halbirungspunkt $g$ man eine Normale zum Punkte $b$ zieht, wodurch der $\sphericalangle fbe$ halbirt wird. Will man den Winkel sehr genau ermitteln, so empfiehlt es sich die Linie $bg$ möglichst lang zu machen. Die Dreiecke $ebg$ und $hbi$ sind nun einander ähnlich und verhalten sich daher die halbe Entfernung zwischen beiden Schenkeln am Ende von $bg$, und rechtwinkelig dazugemessen zu der Länge $bg$, wie $ib$ zu $ih$, d. h. wie die Tangente zum Radius.

Ein Zahlen-Beispiel wird dies erläutern:

In Fig. 4 ist $be = bf$; nehmen wir an, dass $bg$ 10 Mtr. lang genommen wurde, und dass in diesem Falle dadurch $fe$ auch 10 Mtr. lang geworden ist, so wird $fg = ge = 5$ Mtr. sein, und es verhält sich nun

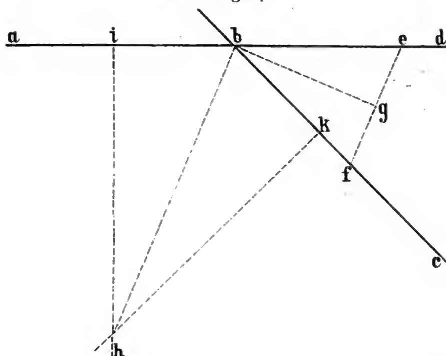
$$5 : 10 = T : R \text{ und daher}$$

$$T = \frac{5 \cdot R}{10}; \text{ ist } R = 200 \text{ Mtr., so wird:}$$

$$T = \frac{5 \cdot 200}{10} = 100 \text{ Mtr. und}$$

$$R = \frac{10\ T}{5} = \frac{10 \cdot 100}{5} = 200 \text{ Mtr.}$$

Fig. 4.



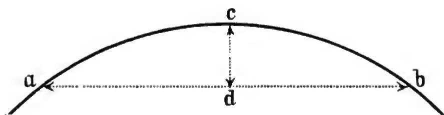

Daraus ist ersichtlich, dass der Radius leicht ohne Kenntniss der Grösse des Tangenten-Winkels berechnet werden kann, wenn nur der Scheitelpunkt des Winkels zugänglich, der Bogen-Anfangspunkt gegeben ist und die Tangente mit der Kette gemessen werden kann. Die Tangente ist in diesem Falle ebenso leicht zu berechnen, wenn, alles Uebrige gleich vorausgesetzt, der Radius gegeben ist.

Wenn nun aber die Tangente und der Radius bekannt sind, so sind bei Kreisbögen natürlich auch alle

Punkte der Curve gegeben und können eventuell mit grosser Genauigkeit abgesteckt werden.

Ist der Tangenten-Winkel und die Tangente unbekannt, und erscheint es wünschenswerth, vorerst den Radius zu bestimmen, so kann man sich, wenn es auf grosse Genauigkeit nicht ankommt, und das dürfte vorläufig bei elektrischen Eisenbahnen meistens der Fall sein, auf folgende einfache Art helfen: man steckt zwischen den beiden Tangenten eine beliebige Curve ab (Fig. 5), zieht irgend eine Sehne, und ermittelt dann die Halbirungspunkte *d* und *c*, die man durch eine Normale verbindet.

Fig. 5.




Angenommen $ab = 120$ Mtr. und $dc = 3$ Mtr., so wird, da

$$R = \frac{a d^2}{2\ c d},$$

der Radius gleich sein dem eingesetzten Werthe

$$\frac{60^2}{2 \,.\, 3} = \frac{3600}{6} = 600 \text{ Mtr.}$$

Es soll nun der Fall betrachtet werden, dass einzelne Punkte einer Curve zu berechnen sind.

Man verfährt dabei am Besten derart, dass man die Richtungs-Linie *a b* als Basis oder auch als Abscissen-Achse eines Coordinaten-Systems betrachtet, auf dieselbe rechtwinkelige Ordinaten zieht, und diese für verschiedene

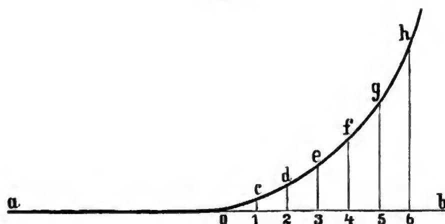
Abscissen-Längen und für verschiedene Radien berechnet. Bedeutet $x$ die Ordinaten-Länge, $y$ die Abscissen-Länge und $r$ den Radius, so geschieht diese Berechnung nach den Formeln

$$x = r - \sqrt{r^2 - y^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1.$$

$$x = \frac{y^2}{2\,r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2.$$

Es ist wohl schon aus dem Ansatze dieser Formeln

Fig. 6.




ersichtlich, dass die sub 1 gegebene dort anzuwenden sein wird, wo es auf grössere Genauigkeit ankommt.

Zur Berechnung des in Figur 6 gegebenen Falles sei aber Formel 2 benützt: die Punkte 0, 1, 2, 3, 4, 5 etc. seien je 1 Mtr. von einander entfernt und die Fusspunkte der Ordinaten, beziehungsweise die Abscissen; nehmen wir an, dass der Radius der Curve gleich sei 180 Mtr., so erhalten wir folgende Werthe für die Ordinaten:

$$1\,c = \frac{1^2}{2 \times 180}$$

$$2\,d = \frac{2^2}{2\,. \times 180}$$

$$3e = \frac{3^2}{2 \times 180}$$

$$4f = \frac{4^2}{2 . \times 180} \text{ etc.}$$

Diese Art der Curven-Berechnung dient hauptsächlich bei Ausführung von Weichen-Anlagen. Noch einer

Fig. 7.

anderen Art des Curven-Absteckens sei hier deswegen gedacht, weil dieselbe beim Abstecken grösserer einfacher Bögen mit Vortheil angewendet werden wird.

Hat man die Tangenten-Punkte festgesetzt, so kann man beim Abstecken der einzelnen Bogenpunkte auch so vorgehen, dass man vorerst die Bogenmitte $B$ bestimmt, die Sehne (Fig. 7) $AB$ in irgend eine gerade Anzahl gleicher Theile theilt und in den Theilungspunkten senk-

rechte Linien errichtet, die andererseits durch eine am Scheitel $D$ angelegte Tangente $FG$ begrenzt werden. Soll nun z. B. der Punkt $m$ bestimmt werden, so geschieht dies, wenn $Dn = x$ als Abcisse und $nm = y$ als Ordinate aufgefasst wird, nach der Formel:

$$y = \sqrt{\frac{4\,r^2 - 2\,x^2}{2} - \sqrt{\left(\frac{4\,r^2 - 2\,x^2}{2}\right)^2 - 4\,x^4}}$$

wobei $r$ natürlich den bekannten Radius bedeutet. Zieht man nun den so gefundenen Werth $y$ von $no$ ab, so wird der Rest die Länge von $om$ anzeigen, und somit ist auch der Punkt $m$ des zu tracirenden Bogens bestimmt.

Die Entfernung des Bogenscheitels $D$ von der Sehne $AB$ wird übrigens, wenn $x$ den Tangenten-Winkel bezeichnet, leichter nach folgender Gleichung zu berechnen sein:

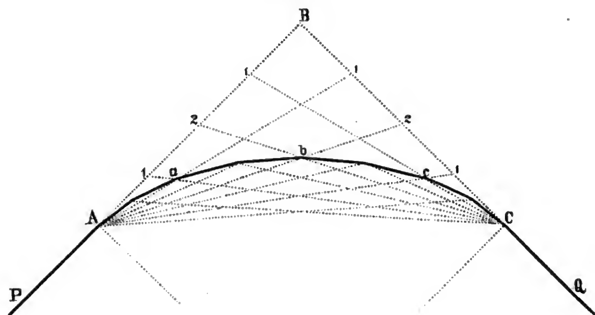
$$DE = r\,\left[1 - \cos\left(45 - \frac{x}{4}\right)\right].$$

Will man die Bogenpunkte ganz ohne jede ziffermässige Berechnung abstecken, so kann dies nach der in Fig. 8 angedeuteten Weise geschehen, wozu bemerkt wird, dass die Tangenten hiebei in gleiche Theile zu theilen und die so ermittelten Punkte mit den gegenüber liegenden Tangenten-Punkten durch gerade Linien zu verbinden sind. Das Uebrige dürfte aus der Zeichnung klar werden. Man wird zwar dabei in Wirklichkeit keinen reinen Kreisbogen erhalten, immerhin aber dürfte das Resultat dieser Methode geeignet sein, den Uebergangsmodus aus einer Richtungs-Geraden in eine andere zu bestimmen.

Richtungs-Aenderungen der Trace in einem Gefälle sind stets mittelst besonders schlanker Curven abzu-

runden, um in den verschiedenen Neigungen des Terrains die sanftesten Uebergänge zu gewinnen. Solche Curven sollen einen Radius von mindestens 2000 Mtr. haben. Der directe Uebergang aus der Geraden in einen Kreisbogen soll übrigens vermieden werden, und empfiehlt es sich Parabelcurven als Uebergangscurven zwischen der Geraden und dem Kreisbogen einzulegen. Weitere Aus-

Fig. 8.




führungen hierüber dürften hier aber zu weit führen, sind wohl auch bei elektrischen Eisenbahnen, deren Fahrgeschwindigkeit 30 Km. per Stunde nur selten überschreiten dürfte, nicht von besonderer Nothwendigkeit, da mit dem Vorstehenden für einfache Fälle das Auslangen gefunden werden kann.

Beim Abstecken einer Eisenbahn ist es nöthig, die Höhenunterschiede der stationirten Punkte, sowie auch auffallender Zwischenpunkte genau zu ermitteln, was man mittelst geodätischer Instrumente bewirkt und »Nivelliren« nennt. Man unterscheidet übrigens Vor-Nivel-

lement und Detail-Nivellement. Ersteres genügt zum Project, letzteres ist nöthig bei Anfertigung von Detailplänen und muss mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden.

Unter die geodätischen Apparate zu diesem Zwecke rechnet man die Setzwage, die Canal-Wasserwage und die Libellenwage mit Fernrohr.

Mittelst letzterer kann man an Nivellirlatten, die deutlich in Maasse getheilt und an zu bestimmenden Punkten aufgestellt sind, die Höhenlage der Letzteren direct ablesen und durch Subtraction die Höhendifferenzen constatiren.

Die Handhabung der aufgeführten Wagen und die Bestimmungen der Höhendifferenzen sind übrigens schon in den Physik-Lehrbüchern für Mittelschulen enthalten, und braucht daher das Nivelliren hier wohl nicht weiter erörtert zu werden.

Der Erdkörper, die Einschnitte und etwaige Thal-Ueberbrückungen einer Eisenbahn, werden Unterbau genannt und hat dieser den Oberbau, d. i. die Schienen, die Schienen-Unterlagen und das Befestigungsmateriale zu tragen.

Bevor auf weitere Erörterungen eingegangen wird, müssen vorerst einige Begriffe erklärt und die wichtigsten Dimensions-Vorschriften angeführt werden.

Bahnachse ist die in der Mitte zwischen den beiden Schienensträngen gedachte Linie.

Längenprofil ist die Darstellung des senkrechten Durchschnittes der Bahn in ihrer Mittelachse.

Planum heisst die wagrechte Oberfläche des Erdkörpers der Bahn,

Krone das Planum eines Dammes,

Sohle das Planum eines Einschnittes.

Einschnitt nennt man das durch Erdaushebung gewonnene Bahnplanum nebst den dazu gehörigen Böschungen.

Objecte sind steinerne und hölzerne Einbaue in den Erdkörper.

Die Spurweite, bereits definirt, beträgt normal 1·335 Mtr., für Schmalspur meistens 1·0 und 0·75 Mtr. u. a. m.

Kronenbreite bei Normalspur 3·3 Mtr., für Doppelgeleise 6·8 Mtr. Bei Schmalspur mindestens die doppelte Spurweite, in starken Krümmungen und Steigungen noch mehr.

Curven-Radien für normalspurige Secundär-Bahnen minimal 150 Mtr., für Schmalspur bei 1 Mtr. minimal 80 Mtr., bei 0·75 Mtr. minimal 60 Mtr.

Curven gleicher Richtung dürfen tangential in einander übergehen, bei Contrabögen soll eine Gerade von der Maximal-Länge eines Zuges eingeschaltet werden.

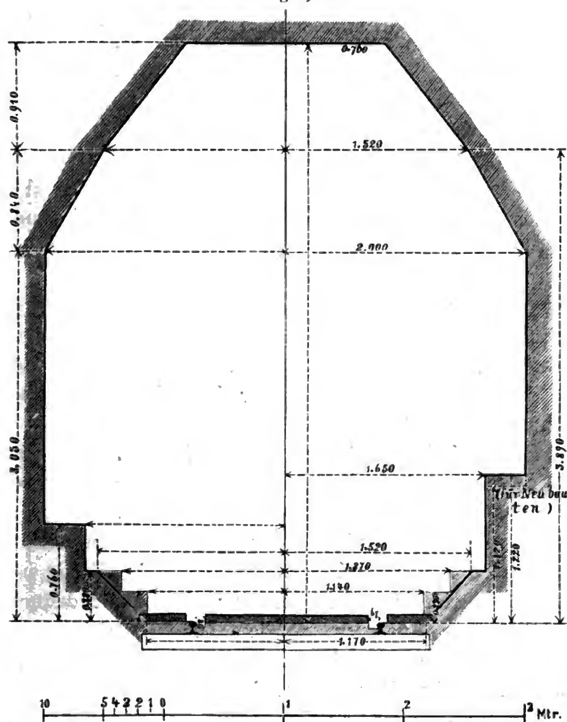
Gefälle, beziehungsweise Steigungen, sollen selbst im coupirten Terrain das Verhältniss 1:40 nicht überschreiten, obwohl beispielsweise die Charlottenburger elektrische Eisenbahn durch nahezu 600 Mtr. eine Steigung von 1:30 bewältigt.

Die Geleise-Entfernung soll bei normalspurigem Doppelgeleise mindestens 3·5 Mtr. von Mitte zu Mitte betragen. Bei Schmalspurbahnen berechnet sich diese Entfernung aus der Spurweite, zu welcher man mindestens 0·5 Mtr. addirt.

Böschungen bei Dämmen und Einschnitten sollen nach folgenden Verhältnissen construirt sein: Die Verti-

cale verhalte sich zur horizontalen Ausladung bei Erdbauten 1 : 1·5, bei lockeren Felsen 1 : 6, bei festem Ge-

Fig. 9.




stein 1:10. Der Böschungswinkel sei am Besten 45°.

Das Normalprofil des lichten Raumes über der Bahn ist vom Vereine deutscher Eisenbahn-Verwaltungen

aufgestellt worden und umstehend sammt Dimensionsangaben abgezeichnet. (Fig. 9.)

Man wird auch bei elektrischen Bahnen, die zum öffentlichen Verkehre bestimmt sind, gut thun, dieses Normalprofil bei der Bahnanlage einzuhalten.

Strassen, Flüsse, Thäler sind möglichst rechtwinkelig zu überschreiten. Ist dies bei Flüssen nicht möglich, so sollen Fahrbahn und Wasserstrich einen Winkel bilden, der nicht weniger als 60° beträgt.

Obwohl man sich bei elektrischen Bahnen dem Terrain mehr anschmiegen kann, als bei Dampfbahnen, so wird man doch auch hier das Ueberschreiten von Flüssen und Thälern oft nicht vermeiden können. Es liegt wohl in der Natur der Sache, dass man mit der Trace in Thälern möglichst hoch, an Bergrücken möglichst tief mit Vermeidung steiler Berglehnen gehen wird, und dass man Flüsse und Thäler dort überschreitet, wo sie am engsten sind.

Schon bei der Tracirung wird man bezüglich Offenhaltung der bestehenden Communicationen Vorsorge treffen müssen. Ist es halbwegs thunlich, so wird man Wegen und Strassen möglichst ausweichen, ja in vielen Fällen wird es vortheilhaft sein, Wege und Strassen in einzelnen Strecken zu verlegen, die dadurch erwachsenden Auslagen werden beim Betriebe stets hereingebracht werden können, wenn dies auch manchmal ziffermässig nicht nachgewiesen werden kann.

Strassen- und Weg-Verlegungen werden übrigens beim Traciren öfter ins Auge zu fassen sein; manchmal lassen sich dadurch auch die Baukosten wesentlich verringern.

Bei der Tracirung ist auch auf die Ableitung der Gewässer Rücksicht zu nehmen. Dies geschieht durch die Anlage von Durchlässen, Brücken und Aquäducten.

Durchlässe sind Aushöhlungen des Dammes in horizontaler oder schwach geneigter Lage, senkrecht oder schief zur Bahnachse, zum Zwecke der Ableitung kleinerer Gewässer oder behufs Durchführung von Geh- oder Fahrwegen.

Man unterscheidet Röhren-Durchlässe und offene Durchlässe; letztere werden hie und da mit Steinplatten, Brettern oder Pfosten eingedeckt, und sind aus zwei die Bahnen kreuzenden Widerlagermauern mit ausgepflastertem Rinnsale hergestellt.

Dabei ist auf die Möglichkeit der Unterwaschung Rücksicht zu nehmen und dieser Gefahr durch Aufführung von Flügelmauern vorzubeugen. Letztere dienen übrigens auch zur Sicherung des Unterbaues überhaupt.

Strassen, Geh- und Fahrwege werden entweder ober oder unter, und nur wenn unausweichlich nöthig, im Bahn-Niveau geführt. Dies geschieht in den zwei ersten Fällen entweder mittelst Holzbrücken oder gemauerter Durchlässe.

Bei Weg-Uebersetzungen im Niveau wird innerhalb des Geleises neben den Schienen eine zweite eiserne oder hölzerne Schiene (Streichpfosten oder Spurschiene) zur Bildung einer Spurkranzrinne (Rille) anzubringen sein.

Bei der Anlage elektrischer Bahnen auf gepflasterten Strassen kann die Spurkranzrinne, wenn für dieselbe nicht schon im Profil der Schiene vorgesorgt sein sollte, auch durch die Pflastersteine einseitig begrenzt sein. Der in-

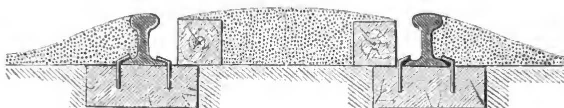
nere Raum zwischen den Streichpfosten oder Spurschienen ist auszupflastern; bei gewöhnlichen Feldwegen wird auch eine einfache Ausfüllung mit Schlägelschotter genügen.

Fig. 10 zeigt eine derartige Anlage im Querprofil.

Bevor ein Zug eine frequente Weg-Uebersetzung passirt, muss diese natürlich für Fussgänger und Fahrzeuge abgesperrt werden. Beim Secundär-Betriebe ist zwar ein derartiges Absperren nicht vorgeschrieben, aber zu empfehlen.

Das Absperren geschieht durch Verschluss-Vorrichtungen (Barrièren).

Fig. 10.



Man unterscheidet — und sind schon aus der Bezeichnung die wesentlichen Unterschiede ersichtlich — Stangen-, Ketten-, Drahtzug- und Thor-Barrièren. Bei den Drahtzug-Barrièren unterscheidet man wieder Schlagbaum- und Schiebestangen-Barrièren.

Der Kettenverschluss erfordert zwar eine sehr theuere Bedienung, dürfte sich aber bei elektrischen Bahnen und frequenten Strassen ganz besonders empfehlen.

Bezüglich der Bahn-Ausrüstung auf der Strecke sei schon jetzt bemerkt, dass die Bahnstrecken von Kilometer zu Kilometer durch Pflöcke oder Steine markirt sind. Man markirt auch die Hektometer-Punkte, und

werden diese Marken »Profile« genannt, weil man an diesen Punkten meist Querprofile beim Traciren aufzunehmen pflegt. Ausserdem stellt man bei Niveau-Brüchen sogenannte Niveau-Tafeln (Neigungszeiger, auch Gradientenzeiger) auf, die in auffallenden Farben und Ziffern die Neigungsverhältnisse der Bahnstrecken nach beiden Seiten ersichtlich machen.

Bei Weg-Uebersetzungen im Niveau werden Warnungstafeln aufgestellt, für welche der Text in einigen Staaten im Verordnungswege festgesetzt ist.

Wird eine elektrische Bahn neben stark frequentirten Wegen und Strassen geführt, so muss die Bahn eingefriedet werden.

Je nach den localen Verhältnissen und etwaigen Nebenumständen werden hiezu dichtere oder weniger dichte Einfriedungsarten zu wählen sein.

Ist nun die Bahn stationirt, sind die Richtungsverhältnisse und Richtungs-Uebergänge (Curven) ermittelt und die Höhenverhältnisse, u. zw. entweder zur Meereshöhe oder zu einer beliebig angenommenen Horizontal-Linie festgestellt, so wird man alle diese Befunde nach Art, wie es die folgenden Tabellenköpfe andeuten, übersichtlich zusammenstellen. Derartig ausgeführte Tabellen sind dem Gesuche um die definitive Concession mit einem technischen Berichte beizuschliessen.

Tafel Nr. I zeigt die Längen- und Querprofile einer 4 Km. langen Bahnstrecke, wie sie von Königswart nach Marienbad (Gesammtlänge 8 Km.) von dem Ingenieur Herrn L. Spies projectirt und tracirt wurde.

## Stations-Aufnahme der Bahnlinie.

| Station Nr. | Zwischen-punkte | Benennung der Gegen-stände in der Linie der Bahn | Längen | | | Erläuterung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | einzeln | der Station | zusammen | |
| | | | in Metern | | | |
| | | | | | | |

## Richtungs-Verhältnisse der Bahnlinie.

| Post Nr | Lage der Linien | | Länge | | | Tangenten-Winkel | | Länge der | | Lage d. Winkel-punkte in Bezug auf d. Bahnachse |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | von | bis | der geraden | der Bogen | zusammen | | | Halbm. | Tangente | |
| | Stations Nr. | | in Metern | | | Grade | Min. | in Metern | | |
| | | | | | | | | | | |

## Längen-Profil der Bahnlinie.

| Benennung wichtiger Tracepunkte | | | Entfernung | | Höhe des Terrains über der Meeres-fläche | Neigungs-Verhältniss der Bahn | | Höhe der Bahn über der Meeres-fläche | Entsprechende | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | Höhe | Tiefe |
| | | | | | | | | | der Bahn | |
| | | | einzeln | zusammen | | | | | über | unter |
| | | | | | | | | | dem Terrain | |
| | | | in Metern | | | steigt | fällt | in Metern | | |
| | | | | | | | | | | |

Die Linie *C* in der Fig. 1 ist die ideale Horizontale, über welche sich die Bahnkrone nach jenen Angaben erhebt, die in der Figur durch verticale Linien angezeigt sind. Die Linie *A* zeigt die thatsächliche Trace-Erhebung, beziehungsweise Neigung im angenommenen correcten Verhältnisse, während die Linie *B* zur leichteren Uebersicht dieselben Niveau-Aenderungen in einem verzerrten, grelleren Verhältnisse andeutet.

Die für das Längenprofil gewählten Maassstäbe sind in Oesterreich-Ungarn für die officiellen Vorlagen durch das Local-Bahngesetz normirt.

Die Fig. 2—5 der Tafel I zeigen einige der markantesten Querprofile, und dürfte aus denselben der Vorgang für Erdbewegungs-Berechnungen (Einschnitte und Dämme) wohl leicht abzuleiten sein.

---

# III.

# Der Unter-, Ober- und Hochbau.

Verschiedene Schienenprofile. — Der Unterbau. — Der Oberbau. — Das eiserne Kleinmateriale. — Das Stuhlschienen-System. — Die Schienenbefestigung. — Quer- und Langschwellen. — Das Biegen der Schienen. — Die normalen Spurerweiterungen. — Die Ueberhöhung der Schienen in Curven. — Weichen- und Drehscheiben. — Hochbau. — Maschinenhaus. — Wagenremise. — Wärter- und Signalbuden.

Unter- und Oberbau. Durch die Wahl des Schienenprofiles und der Spurweite werden die Dimensionen des Unterbaues bestimmt. Die Wahl des Schienenprofiles ist von den Lasten abhängig, die befördert werden sollen.

Man wird bei elektrischen Bahnen immer ein leichteres Schienenprofil als bei Dampfbahnen wählen können, da bei ersteren die Beförderung der zu den Waggons unverhältnissmässig schweren Dampf-Locomotiven entfällt. Auf den folgenden Seiten sind eine Anzahl Schienenprofile mit Dimensionsangaben verzeichnet, die einem officiellen Berichte des Vereines deutscher Eisenbahn-Verwaltungen entnommen wurden. (Fig. 11—22.)

Der Unterbau besteht aus Dämmen, Einschnitten, Brücken und nur selten wird eine Bahn in der Horizontalen von Strassen und Wegen geführt werden können. In der Ebene und in Einschnitten müssen neben dem Planum Entwässerungsgräben von mindestens 0·75 Mtr. Tiefe hergestellt werden. Die Herstellung von Schutz- oder Grenzstreifen, als Abschluss der Querprofile, wird zwar nicht absolut nöthig, aber empfehlenswerth sein; bei der Anlage jeder Bahn soll übrigens immer darauf Rücksicht genommen werden, dass die Anlage eines zweiten Geleises ohne allzu grosse Kosten und Schwierigkeiten bewerkstelligt werden kann. Auch soll selbst dort, wo die treibende Kraft den Waggons durch die Laufschienen zugeführt wird, darauf Rücksicht genommen werden, dass eventuell Säulen zur Führung einer eigenen Kraftleitung aufgestellt werden können. Wo letzteres von Vornhinein beabsichtigt ist, wird man selbstverständlich auch auf die Führung der Kraftleitung Bedacht nehmen und dabei scharfe Bögen möglichst ebenso wie häufige Bahnübersetzungen zu vermeiden haben.

Bei der Wahl der Materialien für den Unterbau ist auf das Strengste zu fordern, dass der Erdkörper möglichst fest werde, dass sich keine hohlen Räume bilden

Fig. 11.




Fig. 12.

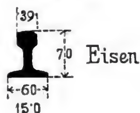



Fig. 13.

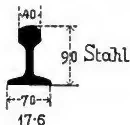



Fig. 14.

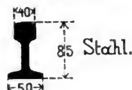



Fig. 15.

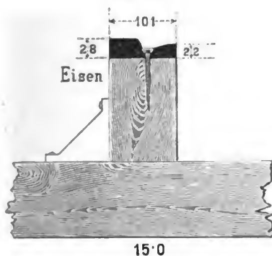



Fig. 16.

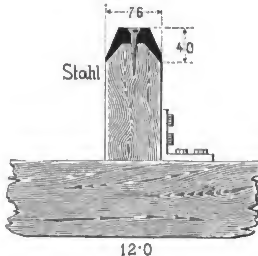



Fig. 17.

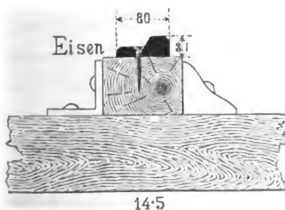
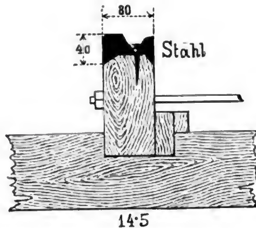



Fig. 18.



können, und muss daher für eine ausreichende Wasserableitung vorgesorgt werden. Mit feuchten oder gar gefrorenen Massen einen Erdkörper zu bilden, ist immer mit bedeutenden Nachtheilen verbunden. Die obere Seite des Bahnplanums darf weder durch Wasser noch

Fig. 19.

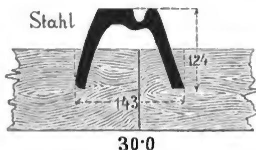



Fig. 20.

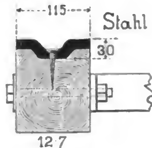



Fig. 21.

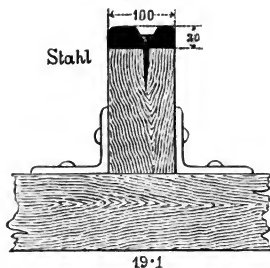
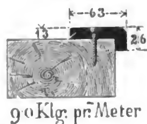



Fig. 22.

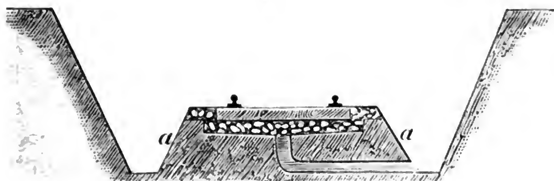



durch Frost beschädiget werden können. Man bettet daher die Schwellen und Schienen dort, wo das Planum nicht etwa gepflastert ist, in eine Lage Kies oder groben Schotter, das bezügliche Querprofil soll demnach das in Fig. 23 gegebene Bild bieten.

Das Bettungsmateriale muss unter den Schwellen wenigstens 0·25 Mtr. stark sein; das Auseinandergehen

der Bettung wird durch die Seitenwände des Dammes *a* verhindert, die Sohle kann durch Drainage oder auch dadurch entwässert werden, dass man derselben eine Neigung von circa 1 : 30 giebt. Bei gepflastertem Planum, wenn z. B. eine elektrische Bahn in den Strassen einer Stadt angelegt wird, muss man sich mit der Bettung des Oberbaues natürlich nach der Art der Pflasterung richten, und bieten diesbezüglich die verschiedenen Tramway-Oberbau-Systeme gute Beispiele. Die meisten der letzteren werden sich übrigens für elektrische Eisen-

Fig. 23.




bahnen in allen Verhältnissen eignen, und wird die Wahl eines derselben von den die Beschaffung der Schienen begleitenden Umständen abhängen.

Die Wahl des Schienenprofiles ist bei jeder Bahnanlage eine wichtige Angelegenheit, und erfordert dieselbe eine genaue Erwägung aller Factoren, welche die Tragfähigkeit, Abnützung und insbesondere die Beschaffung der Schienen bestimmen.

Die gewöhnliche Normalschiene (Vignoles-Schiene), aus Eisen oder Stahl, wird nur dort zu empfehlen sein, wo die elektrische Bahn im freien Terrain geführt werden kann und deren Oberbau nicht verschüttet werden muss.

Bei den Vignoles-Schienen heisst der obere Theil der Kopf, der untere der Fuss und das Verbindungsstück der Steg. Von derartigen Schienen wähle man jene, wie sie jetzt bei Local-Bahnen per Meter zu 17·6 und 15 Kgr. verwendet werden. Auf Seite 39 und 40 sind unter den einzelnen Schienenprofilen Zahlen angesetzt, die anzeigen, wie viel Kilogramm ein Meter der betreffenden Schiene wiegt. Wird für ein gepflastertes Planum das Vignoles-Profil gewählt, so muss, wie schon erwähnt, auf die Spurkranzrinne Bedacht genommen werden. Derartige Schienen werden durch Nägel, Unterlagsplatten und Laschen auf hölzerne Lang- oder Querschwellen befestigt.

Fig. 24 zeigt eine Schienen-Anschlussstelle mit sogenanntem »schwebenden Stoss«, *L* ist die Lasche, $a$ $a_1$ sind die Schrauben, die durch die Schienen reichen; auf der Innenseite ist eine gleiche Lasche angelegt, und werden die Schrauben durch Doppelmuttern festgezogen.

Fig. 25 zeigt die Schienenbefestigung durch die Nägel *N* und Unterlagsplatten *P*. Letztere haben den Zweck, seitliche Verrückungen der Schienen hintanzuhalten. Das eiserne Kleinmateriale für Oberbau besteht daher aus: Laschen, Laschenbolzen sammt Muttern, Haken- oder Schraubennägeln und Unterlagsplatten.

Die Anlage elektrischer Eisenbahnen dürfte Veranlassung sein, dass auf ein älteres System der Schienenbefestigung zurückgegriffen werden wird, und das wird das Stuhlschienen-System sein. Werden nämlich zur Leitung der Elektricität die Schienen benützt, so wird die praktische und billige Isolirung derselben eine Hauptaufgabe des Ingenieurs werden. Beim Stuhlschienen-System nun wird die Isolirung der Schienen am wenigsten

Fig. 24.




Fig. 25.

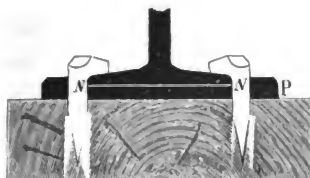



Fig. 26.



Fig. 27.



Fig. 28.



Schwierigkeiten bieten, wie dies im IX. Abschnitte dieses Buches über Leitungen gezeigt werden soll.

In Fig. 26 ist der Schienenstuhl abgebildet; in denselben wird die Schiene derart eingelegt, dass sie an einer Backe des Stuhles fest anliegt, während der Raum zwischen der anderen Backe und der Schiene durch einen Klotz aus hartem Holz so ausgefüllt wird, dass eine seitliche Verrückung der Schiene unmöglich ist.

Der Kopf der Schiene muss natürlich in seiner oberen Fläche mit dem Profil des Spurkranzes jener Räder, die auf der Schiene laufen sollen, correspondiren, er ist meistens in einem Verhältnisse von 1 : 20 gegen die Bahnachse geneigt. Die Schienen werden in Längen von 6—9 Mtr. hergestellt; je länger die Schienen sind, desto weniger Anschlusspunkte hat man, was bezüglich der Erzielung einer ruhigen Fahrt von Vortheil sein wird.

Stahlschienen sind den Eisenschienen entschieden vorzuziehen, weil erstere eine bedeutend längere Verwendungsdauer als Eisenschienen gestatten.

Die Schienen werden auf hölzernen Unterlagen, »Schwellen«, befestigt, und wird sich für elektrische Bahnen aus mehrfachen Gründen weniger die Anwendung von Querschwellen, als eine solche von Langschwellen empfehlen.

Die Unterschiede der beiden Schwellensysteme werden aus den Fig. 27 und 28 klar werden. Es giebt aber auch Bahnen mit hölzernen Langschwellen, die auf Querschwellen befestigt sind, und solche wo die hölzernen Langschwellen durch eiserne Traversen oder Spurbolzen verbunden werden. Endlich giebt es auch Bahnen mit gänzlich eisernem Oberbau und solche, wo statt der

hölzernen Schwellen Steinunterlagen in Verwendung stehen. Die letzteren Arten des Oberbaues zu erläutern wäre hier schon deswegen nicht am Platze, da über die verschiedenen Systeme derselben noch keine definitive maassgebende Entscheidung berufener Ingenieure vorliegt.

Zu Querschwellen kann Eichen-, Kiefern-, Fichten- oder Buchenholz verwendet werden; bei Eichenholz kann man auf eine 15jährige Dauer rechnen, bei weichen Schwellen wird diese Dauer nie zu erreichen sein, wenn dieselben auch vor deren Einbettung mit Metallauflösungen imprägnirt wurden, was übrigens bei weichen Schwellen immer rathsam ist. Man lege bei elektrischen Bahnen die Schwellen wie bei Tramways circa 1 Mtr. von einander; beim Stuhlschienen-System genügen natürlich noch bedeutend weitere Entfernungen; man wird allerdings in diesem Falle auch Schwellen mit viel breiterer Basis verwenden, jedoch ist anderseits darauf zu sehen, dass durch die Entfernungen der Schienenunterlagen nicht etwa Schienen-Durchbiegungen möglich werden. Bei Normalspur- und Vignoles-Schienen sind die Schwellen meistens

2·50 Mtr. lang
0·26 Mtr. breit und
0·16 Mtr. hoch.

Für Schmalspur werden sich diese Dimensionen der Spurweite entsprechend verringern.

Beim Langschwellen-System empfiehlt sich die ausschliessliche Verwendung von hartem (Eichen-) Holz und sind hiebei die Schienenstösse derart anzuordnen, dass sie ziemlich in der Längenmitte eines Langschwellers situirt sind.

Ist der Erdkörper (Unterbau) fertig, die Bettung hergestellt, sind die Schwellen vertheilt und die Schienen aufgelegt, so kann deren Befestigung und Ausrichtung in Angriff genommen werden. Bei der Legung von Curven müssen die Schienen vor der Befestigung durch geeignete Maschinen, dem Bogenradius entsprechend, gebogen werden.

Sind die Bogenradien vorher schon genau bestimmt, so kann die Biegung der Schienen besser im Eisenwerke ausgeführt werden, doch sind in diesem Falle die gebogenen Schienen mit den genauen Maassangaben zu bezeichnen.

Wenn $L$ die Länge der Schiene und $R$ den Radius des betreffenden Bogens bedeutet, so kann die Pfeilhöhe $x$ der Durchbiegung nach der Formel:

$$x = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2\,R}$$

berechnet werden. Beim Legen der Schienen ist ferner auf die Ausdehnung derselben bei höheren Temperaturen Rücksicht zu nehmen, und muss daher beim Verlaschen der Schienen darauf geachtet werden, dass zwischen den beiden Schienenstössen (Schienenenden) ein genügend freier Spielraum für die Ausdehnung bei Temperatur-Differenzen vorhanden ist.

Es sei ferner bemerkt, dass in Curven mit Halbmessern unter 1000 Mtr. die Spurweite im Verhältnisse zur Abnahme der Radien u. zw. nach folgender Tabelle erweitert werden muss:

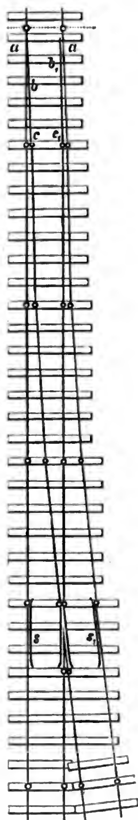
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| bei | 180 | Mtr. | R. | . . . . . | 25 | Mm. | Spurerweiterung |
| » | 200 | » | » | . . . . . | 20 | » | » |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| bei | 250 | Mtr. R. | . . . . . | 19 | Mm. | Spurerweiterung |
| » | 300 | » » | . . . . . | 17 | » | » |
| » | 400 | » » | . . . . . | 15 | » | » |
| » | 500 | » » | . . . . . | 13 | » | » |
| » | 600 | » » | . . . . . | 10 | » | » |
| » | 750 | » » | . . . . . | 6 | » | » |
| » | 900 | » » | . . . . . | 3 | » | » |

Bei Curven ist der äussere Schienenstrang ausserdem zu »überhöhen«, damit beide Schienen von den Radkränzen der Wagen in gleicher Stärke in Anspruch genommen werden. Für die erste Anlage kann man diese Ueberhöhung berechnen, wenn man 45 durch den in Metern angegebenen Radius dividirt; der Quotient giebt das Maass für die Ueberhöhung, und wird das so gefundene Resultat beim Betriebe elektrischer Bahnen weitaus genügen. Diese Ueberhöhungen müssen aber schon beim Tangenten-Punkte, beginnen und sich bis zum Bogenende erstrecken.

Auch elektrische Bahnen können je nach Bedarf ein- oder zweigeleisig angelegt werden. Bezüglich der elektrischen Einrichtungen muss aber die zweigeleisige wie eine doppelte eingeleisige Bahn aufgefasst werden, denn es sind für zweigeleisige Bahnen doppelte Apparatsätze, doppelte Kraftleitungen und natürlich auch doppelte primäre Kräfte (Dampf etc.) nöthig. Ist die Bahn eingeleisig, so wird es angezeigt sein, von 2 zu 2 Km. Ausweichen einzulegen; es sind dies Nebengeleise, die durch Wechsel (Weichen) mit dem Hauptgeleise in Verbindung stehen. Die richtige Construction einer Weiche bietet einige Schwierigkeiten, und wird man immer gut thun, jener Fabrik, welche die Schienen liefert, auch

Fig. 29.




die Lieferung derartiger Anlagen ohne weitere Bemerkungen zu übertragen; für so einfache Verhältnisse, wie sie dermalen bei elektrischen Bahnen möglich sind, werden in den Schienen-Walzwerken Typen und Normalpläne vorhanden sein, die den in Rede stehenden Bedürfnissen vollauf genügen.

Man wird derartige Weichen zumeist in Gerade und nicht in Curven legen; ist letzterer Fall aber nicht zu umgehen, so wird das liefernde Walzwerk wohl genaue Daten über die beabsichtigte Anlage haben müssen.

Fig. 29 skizzirt einen derartigen Uebergang von einem Hauptgeleise in ein Nebengeleise mittelst einer Weiche, und wurde dieselbe hauptsächlich deswegen hier angeführt, um an derselben die Benennungen der einzelnen Theile angeben und auf die Eigenthümlichkeiten in der Schienen-Befestigung verweisen zu können.

Es bezeichnet:

*a* die Anschlag-, Mutter- oder Stockschienen,

$b\ b_1$ die Zungen- oder Spitzschienen,

$c\ c_1$ die Wurzeln der letzteren, zugleich deren Drehpunkte.

Die beiden Zungenschienen sind durch Verbindungs-Stangen zu einem Ganzen verbunden, das mittelst einer Zugstange um $c\ c_1$ zu einer

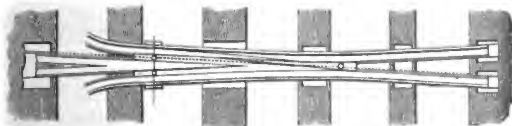
Winkel-Bewegung veranlasst werden kann. Die Zugstange wird durch einen sogenannten Weichenständer (Weichenbock) gehandhabt.

Auf diesem Weichenständer werden erforderlichen Falles auch die Signalmittel angebracht. Die Spitzschienen ruhen gemeinschaftlich mit den Stockschienen auf Unterlagsplatten, die in diesem Falle »Gleitstühle« heissen.

Fig. 30.



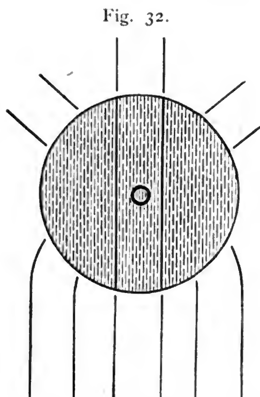
Fig. 31.



Dort, wo sich die Schienen kreuzen, ist ein sogenanntes »Herzstück« eingelegt, und weil eben wegen der Kreuzung hiebei eine kleine Unterbrechung der laufenden Schienenstränge nöthig ist, müssen parallel zum Herzstück »Leitschienen« *s s*, zur Bildung einer Spurrille angebracht sein, um Entgleisungen hintanzuhalten. Die Figuren 30 und 31 zeigen übrigens die Totalansichten der Weiche und des Herzstückes. Wie

schon aus Fig. 29 ersichtlich, gehören zu einer Weichenanlage und zwar von der Wurzel der Spitzschienen bis zur vollständigen Trennung der beiden Geleise besonders angefertigte, nach speciellen Dimensionen behauene Schienen-Unterlagshölzer; man nennt sie gewöhnlich »eine Garnitur Weichen-Extrahölzer« und unter diesem Titel kann man sie auch bei grossen Holzhandlungs-Firmen bestellen.

Fig. 32.



Es giebt sehr einfache, sogenannte amerikanische Weichen, und dürften diese bei Anlage elektrischer Bahnen häufig genügen, da ja in der Nähe der Weichen die Geschwindigkeit der Fahrt ohnehin ermässigt werden muss, und die Weichen hier vorläufig keine so grosse Bedeutung als bei Normalbahnen haben.

Den Uebergang von Fahrzeugen auf andere Geleise bewirkt man auch mittelst »Drehscheiben« und »Schiebebühnen«; insbesondere bei Stations-Anlagen und vor Wagenremisen, wo die Fahrzeuge ohnehin durch Arbeiter geschoben werden, dürften sich diese Arten von Richtungs-Veränderungsmitteln empfehlen. Fig. 32 zeigt die Skizze einer Drehscheiben-Anlage. Die Verwendung von Drehscheiben statt der Weichen ist in England sehr ausgebreitet und wird neuester Zeit auch in Deutschland und Oesterreich immer mehr eingebürgert.

Die Schiebebühnen sind schon viel complicirtere Einrichtungen; deren Construction zu beschreiben, dürfte hier nicht absolut nöthig sein, da bei elektrischen Bahnen mit Weichen und Drehscheiben wohl das Auslangen gefunden werden kann.

Nachdem das Legen der Weichen, sowie überhaupt das Legen des Oberbaues unter Aufsicht eines Fachingenieurs von geübten Arbeitern ausgeführt werden muss, und die Kenntniss des Manuellen dieser Arbeiten zum Project-Entwurf und zur Beurtheilung eines solchen nicht nöthig ist, haben die diesbezüglichen Erörterungen hier wohl zu entfallen.

Die Bedürfnisse an »Hochbau« werden sich nach den localen Verhältnissen richten. Man ist heutzutage überhaupt und zwar mit Recht davon abgegangen, bei Eisenbahnen für ausgedehnte, luxuriös eingerichtete Hochbauten bedeutende Capitalien aufzuwenden, deren Verzinsung und Amortisation dann den grössten Theil des Erträgnisses beansprucht; man beschränkt sich auf das Allernöthigste, und das wird daher auch bei den elektrischen Bahnen zu empfehlen sein.

Unerlässlich nöthig ist bei letzteren ein Gebäude für die stabilen Motoren.

Es sei hier von der Voraussetzung ausgegangen, dass zum Betriebe der elektrischen Eisenbahn ein eigener Motor aufgestellt wird; denn wenn sich auch bei der elektrischen Kraftübertragung die Ausnützung vorhandener Naturkräfte besser und leichter bewerkstelligen lässt, als zu Zwecken elektrischer Lichterzeugung, so ist es doch noch nicht an der Zeit, von jener Ausnützung wie von einer ausgemachten, abgeschlossenen Sache zu sprechen.

Nachdem man bei elektrischen Eisenbahnen aus Rücksichten auf die Grösse der primären Motoren und der ökonomischen Gebahrung wohl immer Dampfmaschinen aufstellen wird, so ist hiebei auf die Einmauerung der Kessel, auf die Montirung, beziehungsweise Fundirung des Motors und auf die Errichtung eines genügend hohen Schornsteines Rücksicht zu nehmen. Es wird also zur Unterbringung der Kessel, des Dampfmotors und der primären elektrischen Motoren ein Parterre-Gebäude genügen, und kann an dasselbe ein einstockhohes Bureau-Gebäude angebaut werden, von welchem übrigens das Stockwerk zur Wohnung für den Maschinen-Ingenieur, eventuell auch für den Maschinenwärter benützt werden kann. Sind mehrere derartige Gebäude aufzuführen, so wird bei den meisten derselben ein Parterre-Anbau als Wohnung für den Maschinenwärter genügen.

Da nun heutzutage Dampfmaschinen von 60—100 Pferdekräften sehr compendiös gebaut werden, Dynamo-Maschinen aber überhaupt wenig Raum beanspruchen, so wird der für das Maschinenhaus bestimmte Hochbau keine ausserordentlich hohen Kosten verursachen. Auf die Details solcher Bauten hier weiter einzugehen ist wegen deren Mannigfaltigkeit wohl nicht möglich; man wird übrigens gut thun, jener Maschinen-Fabrik, welche die Dampfmaschinen liefert, auch die Ausführung des dazu nöthigen Gebäudes zu übertragen, da die meisten grossen Dampfmaschinen-Fabriken eigene Bureaux für Hochbau ständig eingerichtet haben, welche die Erfordernisse der Fundirung für Kessel, Motoren und Transmissionen am richtigsten beurtheilen und ausführen werden. Man wird

ferner, wie bei jeder Kesselanlage auf die Wasser-Beschaffung Rücksicht nehmen müssen, und wird es sich zu diesem Zwecke wohl empfehlen, bei dem Maschinenhause einen eigenen Brunnen zu graben, wenn ausgiebige Wasserbezugsquellen nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Die Anlage der Wagenremise ist nur bedingungsweise nöthig, doch wird man in den meisten Fällen die Ausgabe hiefür nicht scheuen, denn es können in derselben auch die etwa nöthig werdenden Reparaturen vorgenommen werden, und kann dieses Gebäude dann gleichzeitig als Reparatur-Werkstätte dienen. Deswegen wird es auch gut sein, in der Remise zwischen den Geleisen Senkgruben, ähnlich wie bei Dampf-Eisenbahnen die Putzkanäle, anzulegen, um bei jenen Wagen, wo die secundäre Dynamo-Maschine unter dem Wagenplateau angebracht ist, die nöthige Controle leicht ausüben und etwaige Mängel ohne Schwierigkeit beheben zu können. Für derartige Remisen wird ein Riegelbau genügen. Die Remise wird vortheilhaft in der Nähe des Maschinenhauses und vielleicht an dasselbe anzubauen sein, um nicht eine besondere Ueberwachung derselben für die Zeit, als der Verkehr eingestellt ist, nöthig zu machen. In jedem Lehrbuche über Eisenbahn-Hochbau sind Typen und Detailpläne solcher Remisen zu finden, und wird man aus denselben wohl ein passendes Muster entnehmen können.

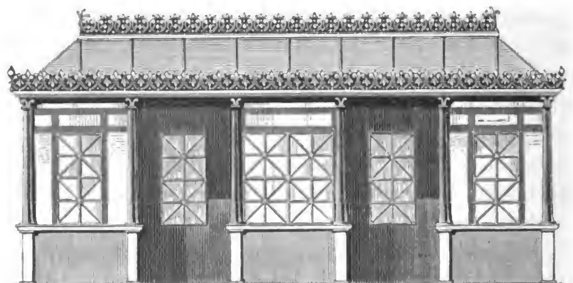
Von sonstigen Hochbauten wären nur noch die Warte- und Einsteigehallen, sowie die Wärter- und etwaigen Signalbuden zu erwähnen.

So lange elektrische Bahnen nur dem Localverkehre dienen, genügen kleine hölzerne oder eiserne Einsteige-

hallen, ähnlich jenen, wie wir sie an den Kreuzungspunkten der Tramway in grossen Städten sehen. Fig. 33 veranschaulicht eine solche Wartehalle, wie sie in Wien aufgestellt sind. Dieselben, aus Eisen und Glas erbaut, brauchen wenig Raum, präsentiren sich recht gut; nur sind sie etwas theuer.

Aus Holz hergestellt würden sie wohl nicht so

Fig. 33.



zierlich sein, aber weniger kosten, und bei vielen Bahnanlagen doch vollkommen entsprechen.

Wärterbuden dürften bei elektrischen Bahnen insbesondere an den Weg-Uebersetzungen und an den Weichen-Anlagen nöthig werden.

Obwohl bei Bahnen im Secundär-Betriebe eine durchlaufende Signalisirung nicht vorgeschrieben und auch nicht nöthig ist, ferner Telegraphen-Einrichtungen bei solchen Bahnen als unnöthig bezeichnet werden können, so wird sich hierbei aber die Anlage von Telephon-Leitungen als praktisch erweisen, und auch optische

Streckensignale werden hie und da durch locale Verhältnisse gefordert werden. Wenn nun einerseits diese Leitungen beim Maschinenmeister zusammentreffen, und hier keine separaten Räume nöthig sind, so wird man doch für die correspondirenden und exponirten Telephonposten Buden aufstellen müssen. Auch bei complicirten Signalposten werden hie und da geschützte Räume nöthig werden, zu denen Muster ebenfalls bei Hauptbahnen zu finden sind.

---

## IV.

## Recapitulation einiger Grundlehren über Inductions-Elektricität und Magnetismus.

Faraday. — Intensitäts-, Quantitäts-Ströme. — Das Lenz'sche Gesetz. — Volta-Induction. — Extra-Current. — Magnetismus. — Häcker's Formeln. — Elektro-Magnetismus. — Vergleichung elektro-magnetischer Kräfte. — Magneto-Induction. — Elektromotorische Inductionskraft. — Inductions-Maximum. — Verschiedene Constructions-Principien für Magneto-Inductions-Apparate.

Es wurde zwar schon ausgesprochen, dass bei Behandlung des vorliegenden Stoffes die Grundlehren über Elektricität und Magnetismus als bekannt vorausgesetzt werden, immerhin dürfte es aber angezeigt sein, jene Sätze über elektrische Induction und Magnetismus hier aufzuführen, die zum Verständnisse der Wirkung elektrodynamischer Maschinen zum Zwecke der Kraftübertragung vor Allem wichtig sind. Weitere Ausführungen

darüber sind im I. und IX. Bande der Elektro-technischen Bibliothek zu suchen.

Michael Faraday, ein englischer Physiker, entdeckte im Jahre 1832, weniger durch Zufall, als in Folge seiner tiefsinnigen und weitgreifenden Forschungen, an der Hand des Gesetzes von der Gleichheit der Wirkung und der Gegenwirkung die Induction elektrischer Ströme, deren Wesen er in seinem Werke: Experimental researches in electricity, 1839, umfassend und erschöpfend darstellte.

Faraday suchte festzustellen, welche Wirkung ein Magnet auf eine geschlossene Drahtspirale ausübe, da eine solche Spirale, in der ein galvanischer Strom circulirt, ein Stück weiches Eisen magnetisch macht, und fand, dass der auf nicht elektrischem Wege magnetisirte Eisenkern momentane elektrische Ströme in der geschlossenen Drahtspirale inducirt; er fand ferner, in weiterer Ausführung dieser Entdeckung, dass ein galvanischer Strom sowohl im Momente seines Entstehens, als auch im Momente seines Verschwindens in einem benachbarten geschlossenen Leiter ebenfalls momentane elektrische Ströme erregt, die in den beiden hier angedeuteten Fällen zu einander entgegengesetzt gerichtet sind, und dass der galvanische Strom auch in seinem eigenen Leiter selbst sogenannte Extra-Ströme unter denselben Bedingungen und Richtungsverhältnissen wie beim zweiten Falle inducirt.

Mit diesen drei Sätzen wären nun jene drei Hauptgesetze der Inductionslehre berührt, die für die Praxis Bedeutung erlangt haben.

Bei der Induction elektrischer Ströme sind immer zwei Factoren (*A* und *B*) thätig. *A* inducirt, und könnte

man ihn den Inductions-Motor nennen, während im Factor *B* die Gleichgewichtslage der latenten Elektricität durch *A* gestört wird, wodurch elektrische Spannung entsteht, und, wenn *B* ein geschlossener Leiter, ein elektrischer Strom circulirt.

Als Factor *A* kann nun mit Rücksicht auf die vorerwähnten drei Fälle entweder ein Magnet oder ein von einem elektrischen Strome durchströmter Leiter fungiren, der Factor *B* wird aber meistens durch viele Windungen isolirten Metalldrahtes gebildet, wobei die Schliessung dieses Drahtes zum Zustandekommen des Inductions-Stromes als unumgänglich nöthig bezeichnet werden muss.

Zur Bestimmung der Richtungsverhältnisse der Inductions-Ströme bedient man sich der Ampère'schen Theorie, doch hat Lenz ein Gesetz aufgestellt, das zwar Ampère's Theorie nur ergänzt, im vorliegenden Falle aber die nöthigen Anhaltspunkte bietet; es soll später angeführt werden.

Man beobachtet bei der Inductions-Elektricität, wie bei der Pyro-, Thermo-, Galvano- und Reibungs-Elektricität physiologische und chemische Wirkungen, Wärme-Erregung und das Ueberspringen von Funken in Distanz. Die Inductions-Ströme erregen Elektromagnete und wirken in der bekannten Weise auf freischwebende Magnetnadeln.

Bei gleichen Quantitätsverhältnissen von *A* und *B* wird immer eine gleiche Quantität von Elektricität inducirt, die sich in *B* vertheilt.

Nimmt man nun zum Factor *B* einen kürzeren Draht mit grösserem Querschnitte, so wird sich die Inductions-Elektricität in der Spirale vertheilen und an der

Oberfläche des Drahtes nur in mässiger Spannung auftreten. Nimmt man ein gleiches Quantum Draht, aber von sehr geringem Querschnitte und daher bedeutender Länge, so wird auch dasselbe Quantûm Elektricität inducirt, diese wird aber an der Fläche des Drahtes in bedeutender Spannung erscheinen.

Im letzteren Falle erhält man daher sehr intensive, im ersteren Falle quantitativ bedeutende, aber weniger intensive Inductions-Ströme, und beruhen hierauf die verschiedenen Constructionen der Inductions-Apparate bezüglich der Intensität oder Quantität der durch solche erzeugten elektrischen Ströme.

Lenz hat die Richtung der Inductions-Ströme im Allgemeinen durch ein Gesetz ausgedrückt, das mit Berücksichtigung der vorstehenden Ausführungen auf folgende Art formulirt werden kann:

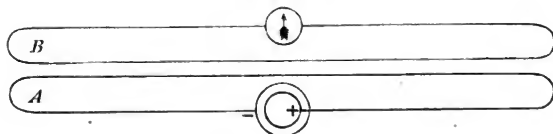
»Die Richtung des durch die Veränderung der relativen Lage oder des relativen Zustandes beider Inductions-Factoren (*A* und *B* in letzterem) inducirten elektrischen Stromes ist der Richtung des auf elektro-dynamischen Wege dieselbe Veränderung bewirkenden Stromes entgegengesetzt.«

Volta-Induction. Circulirt in irgend einem Leiter ein elektrischer Strom, so werden durch Annäherung oder Entfernung desselben an einen anderen geschlossenen Leiter in diesem momentane elektrische Ströme erregt; geschieht die Annäherung oder Entfernung ruckweise, so entstehen schon in den einzelnen Bewegungs-Phasen momentane Ströme, deren Stärke, alles Uebrige gleich vorausgesetzt, durch die Entfernung der beiden Leiter bedingt wird.

Solche Inductions-Ströme entstehen auch bei fixer Lage der beiden Leiter in jenen Augenblicken, wo im ersten (primären) Leiter der elektrische Strom zu circuliren anfängt oder zu circuliren aufhört; daher unterscheidet man bei den im secundären Leiter erzeugten momentanen Inductions-Strömen: »Schliessungs- und Oeffnungs-Ströme.«

Der Strom im primären Leiter kann hiebei auf beliebige Art erregt werden. (Durch Batterien, Dynamo-Maschinen, Thermo-Säulen etc.)

Fig. 34.




In Fig. 34 bedeutet *A* den primären Leiter mit der constanten Elektricitätsquelle, *B* den secundären Leiter mit einem empfindlichen Galvanometer. Schliesst oder öffnet man *A*, so wird in diesen Momenten die Galvanometer-Nadel momentane elektrische Ströme anzeigen.

Da die Schliessungs-Ströme zum primären Strome entgegengesetzt gerichtet, die Oeffnungs-Ströme aber mit dem primären Strome gleichgerichtet sind, werden auch die Oeffnungs-Ströme bedeutend stärker als die Schliessungs-Ströme wirken.

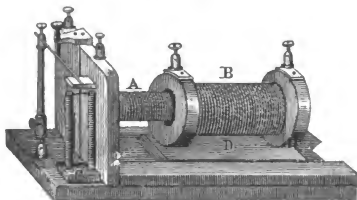
Man nimmt zum primären Leiter dickeren Draht, zum secundären Leiter dünneren Draht, wenn man quantitativ, sehr dünnen Draht, wenn man intensiv starke Inductions-Ströme erregen will. Man erzielt die besten In-

ductions-Wirkungen, wenn die beiden Leiter spiralförmig derart aufgewickelt werden, dass die secundäre Spirale auf eine Multiplications-Rolle des primären Leiters aufgesteckt wird.

Diese Art der Strom-Erzeugung wird Volta-Induction genannt; die bezüglichen Apparate heissen »Inductoren«, und sind die besten Constructionen davon jene nach Stöhrer, Rhumkorff und Dubois-Reymond.

Ein Apparat des letzteren Systemes ist der in Fig. 35 abgebildete.

Fig. 35.




*A* bezeichnet die primäre, *B* die secundäre Spirale. *C* sind die Elektromagnete eines Wagner'schen Hammers, der dazu dient, die primäre Stromleitung in der Minute einige tausendmal zu unterbrechen. Die Rolle *B* kann mittelst des Schlittens *D* entweder wenig, oder in allen Abstufungen bis ganz über *A* geschoben werden. Dieser Apparat dient hauptsächlich zu elektrotherapeutischen Zwecken.

Die elektromotorische Kraft der Volta-Induction ist vom Querschnitte und der Natur des zum secundären Leiter verwendeten Materiales unabhängig, sie ist dem Product der Windungszahlen der primären und secun-

dären Spirale, sowie der Intensität des primären Stromes direct proportional.

Ebenso wie der in einer Drahtspirale entstehende oder verschwindende elektrische Strom in einem benachbarten geschlossenen Leiter elektrische Inductions-Ströme erregt, so ruft der primäre elektrische Strom auch in seinem eigenen Leiter ähnliche Inductions-Erscheinungen hervor, die, wie schon erwähnt, Extra-Ströme (Extra-Current) genannt werden.

Auch der Extra-Strom ist zum primären elektrischen Strome im gleichen Leiter entgegengesetzt gerichtet, wenn dieser geschlossen, gleichgerichtet, wenn dieser geöffnet wird. — Der Schliessungs-Extrastrom schwächt daher den primären elektrischen Strom, während sich der Oeffnungs-Strom zum primären elektrischen Strome addirt.

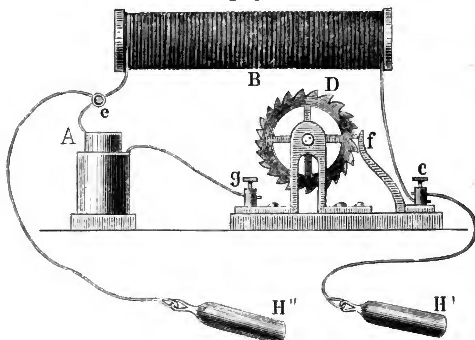
Die elektromotorische Kraft des Extra-Current ist der Intensität des primären elektrischen Stromes direct proportional: sie bleibt gleich, sowohl beim Oeffnungs- wie beim Schliessungs-Strom, wenn die Intensität der primären elektrischen Ströme gleich geblieben ist.

Das Auftreten der Extra-Ströme ist beim Betriebe elektro-dynamischer Maschinen und insbesondere beim Betriebe elektrischer Eisenbahnen sehr störend, es ist deren Wirkung stets in Berücksichtigung zu ziehen und aus sofort zu erörternden Gründen möglichst unschädlich zu machen.

Wie alle Inductions-Wechel-Ströme sind auch die Extra-Ströme von momentaner Dauer, von sehr heftiger physiologischer und nur sehr geringer galvanometrischer

Wirkung. Uebersteigt die Intensität der Extra-Ströme eine gewisse Grenze, so können dieselben eben wegen ihrer physiologischen Wirkung für die Gesundheit, ja sogar für das Leben der Menschen gefährlich werden, und ist dies besonders dort zu beachten, wo bei elektrischen Eisenbahnen die bewegende Kraft den Fahrzeugen durch die im Terrain liegenden Schienen zugeführt wird. Von

Fig. 36.




der Existenz elektrischer Extra-Ströme überzeugt man sich am Besten durch das nachstehend beschriebene einfache Experiment.

In Fig. 36 bedeutet *A* ein galvanisches Element, dessen Strom durch eine Multiplicator-Rolle *B* circulirt; geschlossen wird der Stromkreis durch die Feder *f*, das Zahnrad *D* und die Klemme *g*.

In den Klemmen *c* und *e* sind die Leitungsdrähte angeschlossen, welche in metallenen Handhaben *H*, *H*,, endigen. — Da die Extra-Ströme wegen ihrer äusserst

kurzen Dauer nur eine fast unmessbare galvanometrische Wirkung haben, so empfiehlt es sich, wenn man nicht auf das Messen derselben reflectirt, deren Vorhandensein nach dem physiologischen Effect zu beurtheilen.

Nimmt man $H_{,}$ und $H_{,,}$ in die Hände, so erhält man folgenden Schliessungskreis: rechte Hand, $H_{,,}$ $c$, $B$, $e$, $H_{,,,}$ linke Hand; der Schluss ist also durch den menschlichen Körper hergestellt, und ist in diesem Kreise keine Elektricitätsquelle eingeschaltet, denn $A$ wird durch $e$, $B$, $c$, $f$, $D$, $g$ geschlossen. Dreht man nun bei dieser Anordnung $D$, so wird beim Aufschnappen der Feder $f$ auf die Zähne von $D$ der in zweiter Reihe citirte Schliessungskreis jedesmal einen kurzen Augenblick geöffnet und wieder geschlossen, und die dadurch inducirten Extra-Ströme werden sich durch physiologische Wirkungen anzeigen, die nur auf die Existenz von Extra-Strömen zurückgeführt werden können, da ja in den durch den menschlichen Körper geschlossenen Stromkreis, wie oben erwähnt, sonst keine wirksame Stromquelle eingebunden erscheint.

Magnetismus. Manche Eisenoxyd-Oxydulstücke haben von Natur aus magnetische Kraft. Mittelst derselben kann man polarmagnetischen Körpern aus Eisen, Stahl, Nickel, Kobalt und Chromoxyd-Oxydul magnetische Kraft ertheilen; alle anderen Körper, die auf magnetische Einwirkung nicht reagiren, nennt man diamagnetisch. Die Ursache der magnetischen Polarität liegt in der Coërcitiv-Kraft der Körper. — Weiches, kohlenfreies Eisen hat die geringste, gehärteter Stahl die grösste Coërcitiv-Kraft, d. h. Eisen nimmt Magnetismus leicht an, verliert ihn aber alsbald, während Stahl Magnetismus nur schwer annimmt, dann aber festhält.

Der Maximalpunkt der magnetischen Kraft eines Körpers heisst der magnetische Sättigungspunkt.

Gesetze von Coulomb: Bedeuten $m_1$ und $m_2$ die Kraft der Magnetpole, bezw. jener Punkte eines symmetrisch geformten Körpers, die den grössten Magnetismus besitzen, $e$ die Entfernung zweier Pole, $A$ ihre Wirkung auf einander, so ist

$$A = \pm \frac{m_1 \; m_2}{e^2},$$

d. h. die magnetischen Anziehungs- und Abstossungs-Kräfte verhalten sich umgekehrt, wie die Quadrate ihrer Entfernung.

Die Totalwirkung zweier Magnete auf einander ist übrigens nahezu den dritten Potenzen der Entfernungen umgekehrt proportional.

Magnete erregen in dem ihnen genäherten weichen Eisen temporären Magnetismus.

Verbindet man die Pole eines Hufeisen-Magneten durch einen Anker von weichem Eisen, so unterstützen sich die beiden Pole des Magneten in der Magnetisirung des Ankers, so dass dann die magnetische Kraft des letzteren viel bedeutender ist, als die Summe der Kräfte beider Pole einzeln genommen. Handelt es sich um die Ermittelung der Tragkraft, so berechnet sich dieselbe nach der Häcker'schen Formel:

$$M = a \sqrt[3]{P^2}$$

wenn $M$ = Tragkraft, $P$ = Gewicht in Pfunden und $a$ ein constanter Factor, dessen Werth Häcker bei guten Magneten mit 12·6 ermittelte.

Der Sättigungspunkt für Magnetstäbe lässt sich, ebenfalls nach Häcker, mittelst der empirischen Formel:

$$T = c \sqrt[3]{P} \sqrt[6]{L}$$

berechnen, wenn $T$ = Schwingungsdauer, $P$ = Gewicht in Lothen und $L$ = Länge des Stabes. $c$ ist in diesem Falle meistens zwischen 2·67 bis 2·35 anzusetzen.

Die Schwingungsdauer eines Magneten ist nämlich ebenso wie die Tragkraft desselben ein empirisches Maass für die Stärke des Magnetismus.

Es wurden hier wie im Nachstehenden die Formeln für das alte Maass angeführt, und wird die Umrechnung derselben, insbesondere der Constanten, auf neues Maass wohl keine Schwierigkeiten bieten.

Elektromagnetismus nennt man die Wechselwirkung zwischen Elektricität und Magnetismus. Derselbe äussert sich durch Ablenkung von normal eingestellten Magnetnadeln, wenn ein elektrischer Strom in der Nähe der Nadel und parallel zu dieser circulirt, und durch Erregung von Magnetismus in weichem Eisen, wenn auf dieses ein genügend starker elektrischer Strom einwirkt. Um die Einwirkung des elektrischen Stromes zu erhöhen, führt man den Leiter desselben in spiralförmigen Windungen, die von einander in ihrer ganzen Länge gut isolirt sein müssen, um das zu beeinflussende Object. Man nennt derartige Spiralen Multiplicatoren oder Multiplicationen. — Einen weichen Eisenkern, der durch eine solche Multiplication magnetisch gemacht wird, nennen wir Elektromagnet, und unterliegt derselbe während der Dauer seiner magnetischen Kraft allen jenen Gesetzen, die schon beim Magnetismus an-

geführt wurden; ausserdem aber beachte man noch folgende Sätze und Erfahrungsresultate, die besonders bei der Construction elektrodynamischer Maschinen wohl berücksichtigt werden müssen:

1. Magnetisirende Kraft oder magnetischen Effect nennt man das Product aus der Intensität des elektrischen Stromes in die Anzahl der Windungen der Multiplications-Spirale.

2. Der totale temporäre Magnetismus oder das temporäre magnetische Moment eines Elektromagneten ist der Intensität des magnetisirenden Stromes direct proportional, von der Dicke des Drahtes aber und von der Weite der Multiplications-Windungen unabhängig, besonders wenn der Durchmesser der Spirale gegen ihre Länge klein ist.

3. Der totale temporäre Magnetismus weicher runder Eisenstäbe ist bei gleicher Länge der Stäbe der Quadratwurzel der Durchmesser dieser Stäbe annähernd proportional.

4. Das temporäre magnetische Moment ist dem Product aus dem Quadrat in die Quadratwurzel der Länge eines Stabes proportional.

5. Der Magnetismus in massiven und hohlen Eisenkernen von gleichem Durchmesser ist gleich stark, wenn in letzteren genug Eisenmasse zur Entwickelung des Magnetismus vorhanden ist.

6. Der Magnetismus erreicht in dünneren und kürzeren Schenkeln schneller ein Maximum.

7. Der Abstand der beiden Pole bei Hufeisen-Magneten soll mindestens 27 Mm. betragen; er ist übrigens ohne Einfluss auf die Stärke der magnetischen Kraft.

8. Die Anziehung eines Eisenstabes durch und in eine vom Strome durchflossene Spirale ist dem Quadrate der Intensität des Stromes und dem Quadrate der Windungszahl der Spirale direct proportional.

9. Die Anziehung von Eisenstäben durch Multiplications- oder Solenoid-Spiralen ist nahezu proportional der Quadratwurzel aus dem Durchmesser der Stäbe.

10. Die Anziehung zwischen Anker und Elektromagnet oder zwischen zwei Elektromagneten ist dem Quadrat der Intensität der elektrischen Ströme proportional, wenn die bezüglichen Ströme gleiche Intensität haben und das Maximum des magnetischen Momentes noch nicht erreicht ist.

11. Die Anziehung eines Ankers nähert sich dem Maximum, je stärker die Strom-Intensität und je dünner der Anker ist.

12. Die Anziehung dünner Anker ist in grosser Nähe grösser, als die dicker Anker; bei wachsender Entfernung aber nimmt die Anziehung dünnerer Anker schneller ab, wie die dickerer Anker.

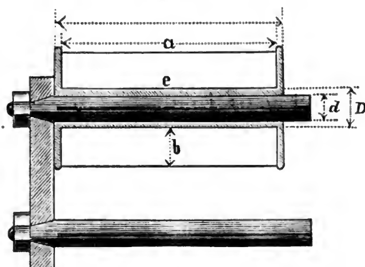
13. Die Anziehung wächst mit der Masse des Ankers, und ist ein Maximum, wenn die Berührungsfläche des Ankers und Magnetes eben und gleich gross sind, vorausgesetzt, dass der Anker nicht länger als die äussere Entfernung der beiden Magnetpole ist.

Um die Wirkung zweier Elektromagnete zu vergleichen — und das ist bei der Beurtheilung elektrodynamischer Maschinen zum Zwecke der Kraftübertragung sehr wichtig — bediene man sich folgender Betrachtungen:

In Fig. 37 sind die Dimensionen eines Elektromagneten eingezeichnet und sind $a\ b\ d\ e\ D$ die Abmessungen des primären, $a_1\ b_1\ d_1\ e_1\ D_1$ die Abmessungen des secundären Elektromagneten in Millimetern ausgedrückt und hier im Längenschnitt betrachtet.

Bezeichnet nun $d$ den Durchmesser des Eisenkernes, $\delta$ die Dicke des Kupferdrahtes, $\Delta$ die Dicke des besponnenen Drahtes und $\frac{\Delta}{\delta} = \gamma$; ferner $\mu$ die Anzahl

Fig. 37.




der Drähte nebeneinander, $m = \frac{a}{\Delta}$ die Anzahl der Windungen einer Hülse nebeneinander und $n = \frac{b}{\Delta}$ die Anzahl der Windungen einer Hülse übereinander, $N = n \cdot m$ die ganze Anzahl der Windungen einer Hülse, $w$ den reducirten Widerstand, also $2\ w$ den Gesammtwiderstand eines Elektromagneten in Rheostat-Einheiten (à 50 S.-E.), $S$ die gesammte Stromstärke, $\frac{S}{\mu}$ die in jeder Windung herrschende Stromstärke, $p = \frac{S\ N}{\mu}$ den magnetischen

Effect der Multiplication einer Hülse, endlich $M$ das temporäre magnetische Moment, so erhält man allgemein für einen Elektromagnet:

$$N = m \, . \, n = \frac{a\,b}{\Delta^2}$$

$$p = \frac{S}{\mu} N = \frac{\frac{S}{\mu} a\,b}{\Delta^2}$$

und da für einen Elektromagnet dessen Spirale aus einem einfachen Drahte besteht

$$\delta^2 \Delta^2 = \frac{\pi\, a\, b\, (b + D)}{1{,}766.000\ w}$$

ist annähernd:

$$M = p \sqrt{a^5 d} = \frac{S N}{\mu} \sqrt{a^5 d} = \frac{S\, b \sqrt{a^7 d}}{\mu\, \Delta^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1766000\ S^2\, b\, w\, a^6\, d}{\pi\,(b + D)\, \gamma^2}}$$

Versieht man alle obigen Bezeichnungen mit dem Index 1, so gelten dieselben für den zu vergleichenden zweiten Elektromagneten, und dienen nun zur Vergleichung folgende Formeln:

$$\left(\frac{M_1}{M}\right)^2 = \left(\frac{p_1}{p}\right)^2 \left(\frac{a_1}{a}\right)^5 \frac{d_1}{d}$$

$$= \left(\frac{S_1}{S}\right)^2 \left(\frac{\mu}{\mu_1}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N}\right)^2 \left(\frac{a_1}{a}\right)^5 \frac{d_1}{d}$$

$$= \left(\frac{S_1}{S}\right)^2 \left(\frac{\mu}{\mu_1}\right)^2 \left(\frac{b_1}{b}\right)^2 \left(\frac{\Delta}{\Delta_1}\right)^4 \left(\frac{a_1}{a}\right)^7 \frac{d_1}{d}$$

$$= \left(\frac{S_1}{S}\right)^2 \frac{b_1}{b} \left(\frac{b + D}{b_1 + D_1}\right) \left(\frac{\gamma}{\gamma_1}\right)^2 \frac{w_1}{w} \left(\frac{a_1}{a}\right)^6 \frac{d_1}{d}.$$

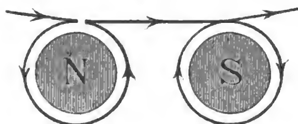
Es wurde dabei auch vorausgesetzt, dass die Multiplicationen aus einfachem Drahte bestehen. Die Folgerungen für die Praxis werden sich aus obigen Formeln leicht ableiten lassen.

Die Relation zwischen magnetischem Moment $M$ und magnetischer Kraft $P$ der Spirale wurde von J. Müller in folgender empirischer Formel ausgedrückt:

$$P = 229\, d^{3/2} \operatorname{tang} \frac{M}{8129\, d^2}$$

wenn $d$ der in Millimetern ausgedrückte Durchmesser des Eisenkernes, wenn $M$ nach absolutem Maasse berechnet und $P$ gleich ist dem Product aus der nach chemischem Maasse gemessenen Stromstärke, in die Windungszahl der Spirale.

Fig. 38.




Bezüglich der Polarität der Eisenkerne gilt der Satz, dass dort ein Südpol erregt wird, wo (Fig. 38) der elektrische Strom in jener Richtung um den Eisenkern circulirt, in welcher sich der Zeiger einer Uhr bewegt.

## Die Magneto-Induction.

Gesetz. Wenn man einen Magneten und eine geschlossene Drahtspirale einander nähert oder von einander entfernt, so entstehen sowohl im Momente des Annäherns als im Momente des Entfernens in der Spirale momentane elektrische Ströme, die zu den nach Ampère's Theorie die Molecüle des Magneten umkreisenden Molecular-Strömchen entgegengesetzt gerichtet sind.

Nimmt man eine mit wohl isolirtem Kupferdraht umsponnene Holzspule, verbindet man ferner die Enden des Drahtes mit dem Multiplicator eines zum vorliegenden Zwecke geeigneten, höchst empfindlichen Galvanometers und führt nun in die Oeffnung der Spule den Südpol eines kräftigen Magneten ein, so wird im Momente dieser Bewegung der Nadelausschlag am Galvanometer anzeigen, dass und in welcher Richtung ein elektrischer Strom in der Drahtspirale inducirt wurde.

Lässt man den Magneten in der Holzspule in Ruhe, so wird die Magnetnadel in ihre Normallage zurückkehren.

Eine jede Veränderung der Lage dieser beiden Factoren wird nun elektrisch inducirend wirken; führt man z. B. den Südpol des Magneten noch weiter in die Holzspule ein, so wird die Nadelablenkung wieder einen Strom derselben Richtung wie früher anzeigen; zieht man jedoch den Magneten von derselben Seite theilweise oder ganz aus der Holzspule, so wird am Galvanometer wieder ein elektrischer Strom, aber von entgegengesetzter Richtung zu dem vorigen angezeigt werden.

Dieselben Beobachtungen wird man auch machen, wenn der Nordpol des Magneten in diese Spule eingeführt oder daraus entfernt wird; nur werden die hiedurch erzeugten elektrischen Inductions-Ströme zu den correspondirenden mit dem Südpol erzeugten entgegengesetzt gerichtet sein.

Diese durch den Polwechsel bedingte entgegengesetzte Richtung zweier derartigen Ströme war lange Zeit das Haupthinderniss für die praktische Verwendung dieser so erzeugten Elektricität, und erst durch die Con-

struction magnet-elektrischer und dynamo-elektrischer Maschinen ist es gelungen, constante elektrische Ströme mittelst Magnet-Induction zu erregen.

Es wäre nun zu untersuchen, welche Umstände und Bedingungen auf die Intensität der durch Magnetismus erzeugten Inductions-Ströme Einfluss haben:

Je grösser die Kraft und Menge des inducirenden Magnetismus, je mehr Windungen isolirten Drahtes in der Spirale, und je geringer die Entfernung zwischen letzterer und dem Magneten, desto grösser ist die Inductions-Wirkung, oder desto bedeutender ist bezüglich Quantität und Spannung der inducirte elektrische Strom.

Man kann sich die Stärke der Induction demnach so vorstellen: Jedes Molecular-Strömchen des Magneten wirkt auf alle in seiner magnetischen Atmosphäre gelegenen Theile des geschlossenen Leiters elektrisch inducirend. Je mehr nun solche Molecular-Strömchen wirken, je mehr und je näher die einzelnen Theile des Leiters dieser Wirkung ausgesetzt sind, desto grösser ist das Gesammtresultat der Induction, desto bedeutender also der inducirte elektrische Strom.

Die Richtung der Magneto-Inductions-Ströme lässt sich nach dem Lenz'schen Gesetze genau ermitteln; die Ampère'sche Theorie, nach welcher man sich die Wirkung des Magneten auf elektrische Ströme zurückgeführt denkt, ist bei dieser Richtungs-Bestimmung besonders zu berücksichtigen.

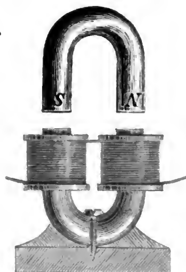
Die Grösse der elektromotorischen Kraft bei der Magneto-Induction ist nach folgenden Sätzen zu beurtheilen:

1. Die elektromotorische Kraft ist bei der Magneto-Induction von der Dicke des Drahtes, von dem Durchmesser der Spiralwindungen und vom Stoffe des Drahtes unabhängig;

2. sie ist unter sonst gleichen Umständen der Anzahl der Spiralwindungen direct proportional.

Hat man daher mehrere Windungen auf dem Inductor-Anker, so bieten diese einen bestimmten Widerstand, und wächst dieser bei Vermehrung der Windungen schneller als die elektromotorische Kraft. Bei einem gegebenen äusseren Widerstande wird nun bei einer bestimmten Anzahl von Windungsreihen, welche der Induction ausgesetzt werden, die Strom-Intensität $I$ ein Maximum erreichen, das sich auf folgende Art berechnen lässt. Es sei:

Fig. 39.




$k$ der Radius eines cylindrischen Ankers,

$a$ die Länge der Drahtspule,

$l$ die Gesammtlänge des Drahtes,

$\delta + \beta$ die Dicke des Drahtes mit seiner Isolirschicht,

$m$ die Zahl der nebeneinander

$n$ die Zahl der übereinander liegenden Drahtlagen,

$r$ der specifische Widerstand des Spulendrahtes,

$W$ der äussere Widerstand,

$E$ die elektromotorische Kraft jeder Windung, so ist

$$I = \frac{m\, n\, E}{l\, r + W} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1.$$

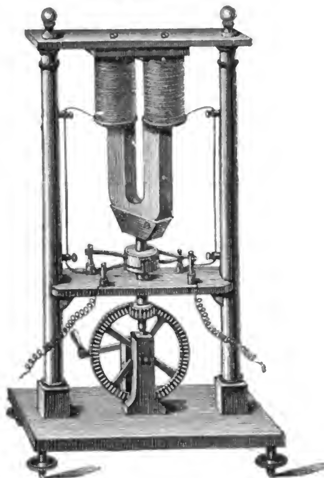
nun ist:

$$m = \frac{a}{\delta + \beta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2.$$

und

$$l = [2\,n\,k + n^2\,(\delta + \beta)\,\frac{\pi\;a}{\delta + \beta}] \quad . \quad . \quad 3.$$

Fig. 40.



und demnach

$$I\,\text{max.} = \frac{n\,a\,E}{\frac{a\,\pi\,r}{\delta^2}\,[2\,n\,k + n^2\,(\delta + \beta)] + W(\delta + \beta)} \quad 4.$$

Diese Formel ist nun allerdings etwas unhandsam, sie dürfte sich aber auf elementarem Wege nicht weiter vereinfachen lassen. Mittelst Anwendung höherer Rech-

nung jedoch, wenn

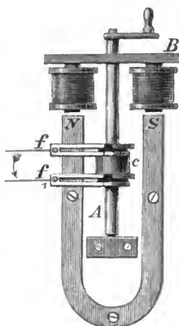
$$n = \delta \sqrt{\frac{W}{a \pi r}}$$

erhält man, falls das Differential des Werthes der Formel 4 nach $n$ gleich Null gesetzt wird:

$$I \text{ max.} = \frac{\delta^2 E}{2 \left[k \pi r + (\delta + \beta) \sqrt{\frac{\pi r W}{a}}\right]} \qquad 5.$$

d. h. das Intensitäts-Maximum ist der inducirten elektromotorischen Kraft proportional, es wächst mit der Dicke des Drahtes und der Länge der Spule, es nimmt ab mit dem Radius des Ankers und dem äusseren Widerstande der Leitung.

Fig. 41.



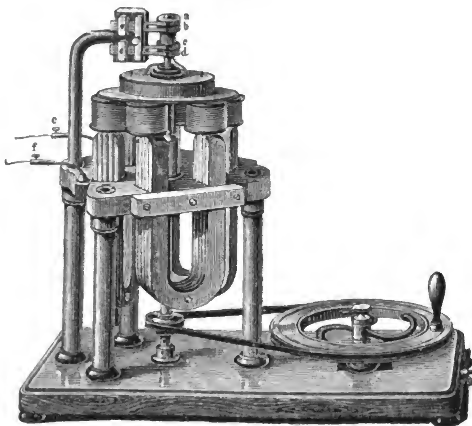

Es ist für die Inductions-Wirkung gleichgiltig, ob man der Drahtspirale den Magneten, oder umgekehrt, dem Magneten die Drahtspirale nähert, und beruhen hierauf die verschiedenen Constructionen magneto-elektrischer Maschinen, die man in folgende Hauptgruppen eintheilen kann:

1. In solche, bei denen ein fixer Eisenkern, auf den mit isolirtem Draht umwickelte Holzspulen gesteckt sind, durch Annäherung eines kräftigen Magneten magnetisirt und entmagnetisirt wird, um dadurch in der geschlossenen Drahtspirale Inductions-Erscheinungen zu erzielen. (Fig. 39.) Schon im Jahre 1832 wurden von Dal Negro und Pixii derartige Maschinen construirt. Fig. 40 zeigt die von Pixii angewendete Construction.

2. In solche, wo die Stahlmagnete fix sind, und das weiche Eisen mit den Inductions-Spiralen an den Polen der Magnete vorübergeführt wird, wodurch nun wie im ersten Falle Inductions-Ströme erregt werden. (Fig. 41).

Derartige Apparate wurden von Clarke, Ettinghausen, Dove, Stöhrer, Petrina u. a. construirt; sie

Fig. 42.




erwiesen sich auch praktischer und wirksamer als die ersteren, und wurde dieses Princip den meisten später construirten zu Grunde gelegt.

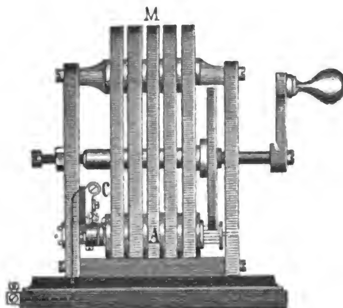
Fig. 42 zeigt einen Inductions-Apparat dieser Gruppe nach Stöhrer.

In dritter Reihe müssen, als nach einem selbständigen Princip construirt, die Siemens'schen Magneto-Inductoren

angeführt werden, bei welchen Stahlmagnete und Drahtspirale fix in der Distanz zu einander bleiben, und nur letztere ihre Stellung durch Bewegung um ihre Achse ändert.

Die Fig. 43 und 44 veranschaulichen derartige Apparate, die in der Praxis eine bedeutende Verbreitung erlangt haben. *M* sind die Magnet-Lamellen, *A* der mit

Fig. 43.




Draht umwickelte Anker, *C* der Commutator, der die Aufgabe hat, die intermittirenden Ströme der äusseren Leitung in gleicher Richtung zuzuführen. Fig. 45 zeigt den Querschnitt eines solchen Apparates, bei welchem auf die Form des Ankers besonders aufmerksam gemacht wird. Die dunkel gehaltene Stelle im Anker bedeutet den für die Drahtwickelung bestimmten freien Raum. In diese Classe gehört auch die in Fig. 46 abgebildete elektrische Maschine von Wilde, die mit 2 Siemens'schen Inductor-Ankern ausgerüstet ist, und mit der man schon kräftige Effecte erzielen kann, da der kleinere Inductor *I*

nur die eine Aufgabe hat, die Elektromagnete $E E_1$ zu

Fig. 44.

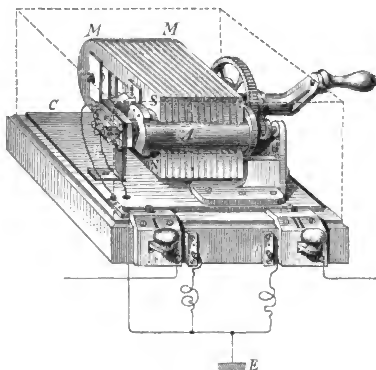



Fig. 45.

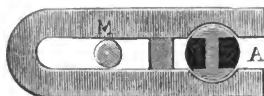
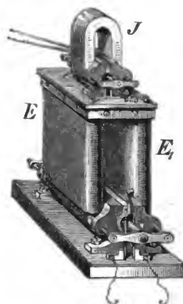



Fig. 46.




erregen, die wieder ihrerseits im unteren Inductor-Anker inducirend wirken.

Mit den magnet-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen, die unter allen den Vorzug haben, dass man mit denselben sowohl intermittirende als auch constante Inductions-Ströme zu erzeugen im Stande ist, wäre die Reihe der Magneto-Inductions-Apparate geschlossen.

---

# V.

# Magneto-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen.

Die vier Inductions-Phasen. — Erklärung der Function einer elektrischen Maschine. — Ableitung der in der Maschine erregten Elektricität. — Magnet-elektrische und dynamo-elektrische Maschinen. — Das elektrodynamische Princip. — Beschreibung einer grossen Gramme-Maschine. — Verschiedene Constructionen der Armaturen. — Deren Vortheile und Nachtheile. — Wechselstrom-Maschinen. — Die Constanten elektrischer Maschinen. — Ohm'sches Gesetz. — Elektromotorische Kraft einer Maschine, deren innerer Widerstand. — Ermittelung der Windungszahl und der Windungsschichten. — Maximum des Stromeffectes. — Joule-sches Gesetz. — Funkenbildung am Collector. — Tourenzahl. — Constructions-Bedingungen für Dynamo-Maschinen.

Die Construction und Function magnet-elektrischer Maschinen beruht nun ganz auf jenen Gesetzen, die im vorigen Abschnitte über die Magnet-Induction aufgezählt wurden.

Wenn man einer geschlossenen Drahtspirale einen magnetisirten Stahlstab nähert, denselben durchzieht und von der Spirale entfernt, so unterscheidet man vier Inductions-Phasen, und zwar:

*a)* Der Nordpol wird der Spirale genähert,
*b)* der Nordpol wird von der Spirale entfernt;
*c)* der Südpol wird der Spirale genähert und
*d)* der Südpol wird von der Spirale entfernt.

Die Inductions-Ströme in den Fällen *a* und *d* sind gleich gerichtet, eben so wie die Ströme in den Fällen *b* und *c*.



Fig 47.

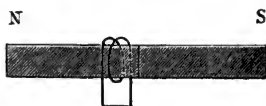


Fig. 48.

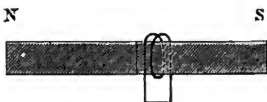


Fig. 49.

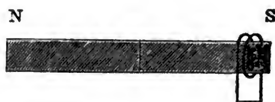


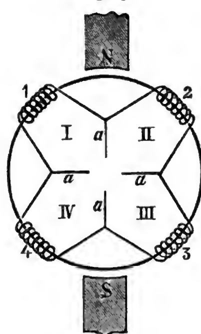
Fig. 50.

Nach dem Lenz'schen Gesetze sind aber die Ströme bei *a* und *d* entgegengesetzt gerichtet zu jenen bei *b* und *c*. Durch Fig. 47—50 werden diese vier Fälle veranschaulicht.

Man denke sich nun einmal statt eines geraden Eisenkernes einen kreisrund gebogenen Eisenkern, und in jedem Quadranten desselben eine Multiplications-Spule, wie dies in Fig. 51 veranschaulicht wird. Setzt man den Eisenkern der magnetischen Einwirkung der an diametral gegenüberliegenden Seiten situirten permanenten Magnete aus, und rotirt man ferner den kreisrunden Eisen-

kern sammt den Spulen, so wird der dem Nordpol gegenüber im Eisenkerne erregte Südpol und der dem Südpole gegenüber erregte Nordpol räumlich immer an derselben Stelle bleiben, obwohl bei der Rotation des Ringes immer andere Molecüle des Eisenkernes die Polarität, d. h. die grösste Intensität der magnetischen Kraft besitzen. Der Eisenkern kann in diesem Falle wie ein Paar halbkreisförmig gebogene, mit den gleichen Polen zusammenstossende Magnetstäbe betrachtet werden, und liegt dann die magnetisch neutrale Zone in jenem Durchmesser des Kreises, der die Quadranten I und II von den Quadranten III und IV trennt.

Fig. 51.

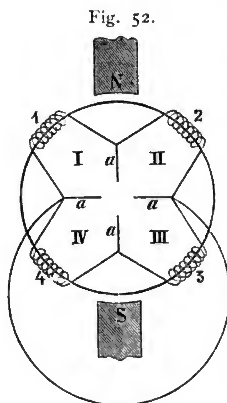



Da es sich bei der Functions-Erklärung einer solchen Maschine hauptsächlich um die Richtungsverhältnisse der inducirten Ströme handelt, seien dem Verfasser im Nachstehenden die nicht ganz correcten aber einfachen Bezeichnungen »positiver und negativer Strom« gestattet.

Betrachtet man in Fig. 51 die einzelnen Spulen bei der Rotation des Ringes um einen Quadranten, so sind die oben sub *a*, *b*, *c* und *d* aufgezählten Inductions-Phasen leicht zu unterscheiden, und wird es nach obigen Ausführungen klar, dass die Spulen 1 und 4 in den Quadranten I und IV gleichgerichtete Ströme — bezeichnen wir sie als negative — liefern, während die Spulen 2 und 3 in den Quadranten II und III ebenfalls gleichgerichtete aber positive Ströme ergeben müssen.

Denkt man sich nun sowohl die mit arabischen als auch die mit römischen Ziffern bezeichneten Spulen und Quadranten in Fig. 51 fix trotz fortdauernder Rotation, so werden die Spulen in den Quadranten I und IV und in den Quadranten II und III immer gleichgerichtete Ströme liefern, da die Entfernung von einem Pole und die Annäherung an den anderen Pol Ströme im gleichen Sinne ergeben. Die negativen Ströme aus 1 und 4 werden sich ebenso addiren, wie die positiven aus 2 und 3, und auf diese Art erhält man bei continuirlicher Rotation constante Potential-Differenzen an den neutralen Punkten, die bei passender Ausgleichung einen constanten elektrischen Strom zur Folge haben.

Fig. 52.




Was nun von diesen vier Spulen gilt, muss auch dann gelten, wenn auf jeden Quadranten mehrere (z. B. 10 bis 15) Spulen aufgewickelt sind, wobei noch einmal darauf aufmerksam gemacht wird, dass zum Zustandekommen des elektrischen Inductions-Stromes der geschlossene Leiter ein absolutes Erforderniss ist. Geschlossen sind aber bei der magnet-elektrischen Maschine die verschiedenen Spiralen dadurch, dass sie unter einander eine einzige Spirale bilden, denn die Enden einer jeden Spule sind mit den Enden der beiden anliegenden Spulen verbunden, wie dies schon in Fig. 51 veranschaulicht wird. Es handelt sich nun darum, zu zeigen,

wie der elektrische Strom aus einer solchen Maschine der äusseren Leitung zugeführt wird.

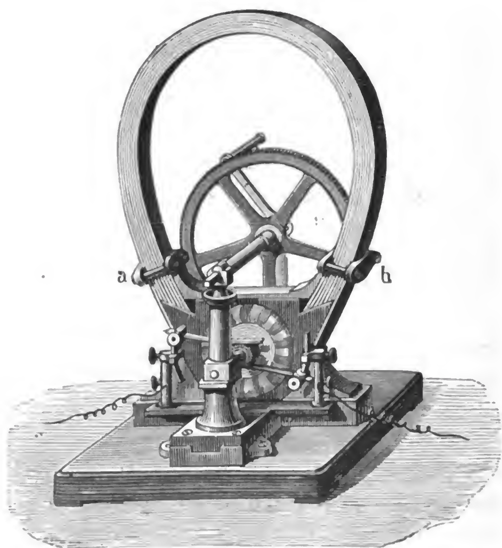
Auf der Achse des Ringes sind central um die geometrische Achse desselben so viele isolirte Kupferspeichen — gut isolirt von einander — aufgepresst, als Spulen am Inductorring aufgewickelt sind. In der nebenstehenden Fig. 52 sind diese Speichen mit *a* bezeichnet und sind auch in diesem Falle nur vier Spulen, als Repräsentanten der bezüglichen Spulengruppen in den verschiedenen Quadranten, in Betracht gezogen. In Wirklichkeit sind aber diese Speichen *a* besonders bei den älteren Maschinen nicht gerade, sondern rechtwinkelig umgebogen, so dass sich dieselben einseitig parallel zur Achse legen, anderseitig radial vom Ringmittelpunkte ausgehen, und der Ring daher von einer Seite aus ein sternförmiges Ansehen hat. Jedes freie Ende einer solchen Radialspeiche ist mit dem einen Ende der vorherliegenden und dem einen Ende der darauffolgenden Spule im permanenten Contact, und bilden auf diese Weise alle Spulen eines Ringes eine einzige Spirale; es können diese Spulen aber bei dieser Anordnung auch jede für sich oder in beliebiger Combination geschlossen werden.

Legt man nun an die neutralen Punkte des Inductorringes die Enden eines geschlossenen äusseren Leiters, so erhält man in diesem einen elektrischen Strom, der dann entsprechend seiner Stärke ausgenützt werden kann.

Bis jetzt wurde noch immer angenommen, dass die vorerwähnte Inductionskraft von permanenten Magneten ausgeübt werde, und eignen sich hiezu am besten Jamin'sche Blättermagnete, wie sie Gramme zu seinen

magnet-elektrischen Maschinen für Hand- oder Pedalbetrieb verwendet. Eine solche Maschine ist in Fig. 53 abgebildet. Die Pole der Blättermagnete schliessen an sogenannte Polschuhe an, die correspondirend halbkreis-

Fig. 53.

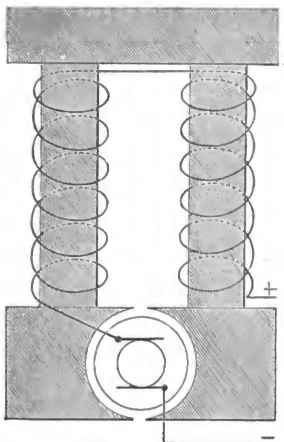



förmig ausgedreht sind, und rotirt in der so gebildeten Oeffnung der oben beschriebene Inductorring, den man auch die »Armatur« nennt. Darum heissen solche Maschinen auch »magnet-elektrische Maschinen« zum Unterschiede von den »dynamo-elektrischen Maschinen«, bei welchen die inducirende magnetische

Kraft durch Elektromagnete ausgeübt wird, deren Multiplication gleich in die von den neutralen Punkten des Ringes ausgehende äussere Leitung eingebunden werden kann, wie dies im Schema Fig. 54 angedeutet ist.

Siemens und gleichzeitig auch Wheatstone machten nämlich die Erfahrung, dass in jedem Eisenkerne eines Elektromagneten, wenn er nur einmal magnetisirt war, so viel remanenter Magnetismus zurückbleibt, dass dieser zu schwachen Inductions-Wirkungen vollkommen genügt. Die so erzielten schwachen Inductions-Ströme werden dazu dienen, den Elektromagnetismus zu stärken, wodurch in gleichem Maasse die Inductions-Wirkung und daher die Stärke der Inductions-Ströme wächst, bis die Elektromagnet-Kerne das Maximum des Magnetismus erreicht haben.

Fig. 54.



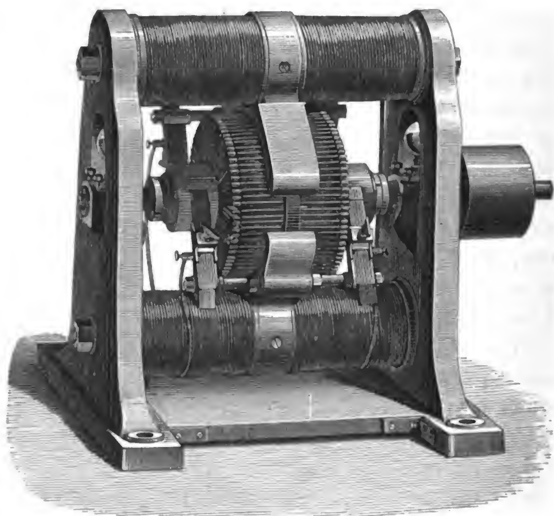

Es ist nun, wie später ausführlicher gezeigt werden soll, der Elektromagnetismus, beziehungsweise die Inductionskraft von der Zahl der Rotationen des Inductorringes abhängig. Diese Combinationen von Wirkungen nannte Siemens das »elektro-dynamische Princip«.

Nachdem nun die Principien für diese Art elektrischer Maschinen erörtert sind, soll nunmehr eine elektro-dynamische Maschine (System Gramme) betrachtet

werden und diene dazu das in Fig. 55 dargestellte Bild einer derartigen Elektricitätsquelle.

Diese Figur zeigt eine der grössten Maschinen, die bei Gramme gebaut werden. Sie hat vier paarweise, mit den gleichen Polen zusammenstossende Elektromagnete,

Fig. 55.



die in gusseiserne Seitenwände eingelassen sind. Dort, wo die gleichen Pole zusammenstossen, sind die Polschuhe angesetzt, in deren kreisförmig ausgedrehter Oeffnung die Armatur rotirt. Die Achse des Inductorringes ist in den Seitenwänden eingelagert und sind aus der Abbildung die schon früher erwähnten radialen

und parallel zur Achse gelagerten Kupferspeichen, die in ihrer Gesammt-Zusammenstellung »Collector« (Commutator ist unrichtig) genannt werden, deutlich zu ersehen.

Am Collector, und zwar gerade auf jenen Kupferspeichen, an welche sich die Multiplicator - Spiralen anschliessen, die sich jeweilig im neutralen Punkte befinden, schleifen Metallbürsten, die durch Federn an den Collector zur Erzielung eines guten Contactes angedrückt werden. Diese Metallbürsten sind die Enden des bei Fig. 52 erwähnten äusseren Leiters, wobei, wie Fig. 54 zeigt, nicht ausgeschlossen ist, dass diesem äusseren Leiter noch in der Maschine selbst eine Function — Erregung der Elektromagnete — zugetheilt wird.

Weitere Details über derartige Maschinen sind in vortrefflicher Weise im I. Bande dieser Bibliothek (»Die magnet-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen« von G. Glaser de Cew) beschrieben.

Nach diesen vorangeführten Constructions-Principien sind alle magnet-elektrischen und dynamo-elektrischen Maschinen, die zur Erzeugung constanter elektrischer Ströme bestimmt sind, gebaut; man wird jene trotz aller Aenderungen in der Detail-Construction immer wieder finden und constatiren können.

Der eine Constructeur (Gramme) macht den Ring dick und mit geringem Durchmesser; der andere (Schuckert) flach und mit grösserem Durchmesser, der dritte (Hefner v. Alteneck) giebt der Armatur einen trommelförmigen Eisenkern.

Die Vortheile und Nachtheile dieser verschiedenen Constructionen seien hier kurz skizzirt: Beim Gramme'schen Ring

liegt nur ein Theil der Bewickelung im magnetischen Felde, die inneren Theile der Drahtspiralen nehmen nur mässigen Antheil an der Induction, immerhin dürfte sich aber die Gramme'sche Construction wegen ihres vorzüglichen Effectes vor allen anderen empfehlen. Beim Schuckert'schen Ring ist zwar der oben beim Gramme'schen Ringe citirte Uebelstand bedeutend gemildert, wegen des grossen Durchmessers bei diesem Ringe sollen jedoch angeblich die wirkenden bedeutenden Centrifugalkräfte so schädigenden Einfluss ausüben, dass solche Maschinen keine lange Betriebsdauer gestatten dürften; der Effect derselben ist ebenfalls ein vortrefflicher; Siemens (beziehungsweise Hefner von Alteneck) hat deswegen die Multiplications-Drähte auf eine Trommel aufgewickelt, um dieselben möglichst vollständig der Inductions-Wirkung auszusetzen; es ist dies wohl ausreichend gelungen, der Effect ist dem entsprechend, aber die Trommel erhitzt sich in Folge allzureichlicher Bildung der Foucault'schen Strömchen und anderer Nebenumstände sehr bald, ein Uebelstand, der besonders bei elektrischen Eisenbahnen ausserordentlich störend auftritt, weswegen sich auch zur elektrischenKraftübertragung im Allgemeinen Ringmaschinen immer besser als Trommelmaschinen eignen werden.

Für Beleuchtungszwecke ist es hie und da vortheilhaft Maschinen zu construiren, die keine constanten, sondern alternirende Ströme liefern. Zum Zwecke der Kraftübertragung bedient man sich aber bis jetzt nur solcher Maschinen, die continuirliche Ströme abgeben, und wenn auch einzelne elektrische Motoren auf Veränderung der Stromrichtung basiren, so wird die Stromumkehrung doch meistens im Motor selbst durch einen

Commutator bewirkt, da es sich gezeigt hat, dass bei der Erzeugung und Fortleitung von Wechselströmen viel Kraft ungenützt verloren geht, und derartige Ströme nur mit bedeutenden Spannungen und damit eventuell verbundenen heftigen physiologischen Wirkungen erscheinen. Diese beiden letzteren Umstände lassen es überhaupt als gerathen erscheinen, die Anwendung von Wechselstrom-Maschinen möglichst zu umgehen, und aus diesem Grunde kann die Erläuterung der Constructions-Principien derselben hier wohl übergangen werden.

Wie bei jeder Elektricitätsquelle ist auch bei den elektrischen Maschinen die Kenntniss der Constanten derselben sehr wichtig. Die diesem Buche beigeheftete Maasstabelle zeigt, nach welchen Einheiten diese Constanten, und zwar elektromotorische Kraft, innerer Widerstand und Stromstärke gemessen werden. Die Relation, in welcher diese Constanten zu einander stehen, ist durch das bekannte Ohm'sche Gesetz gegeben.

Bezeichnet:

$I$ die Intensität des elektrischen Stromes;

$E_1, E_2 \ldots$ die elektromotorischen Kräfte;

$w_1\ w_2 \ldots$ die reducirten Widerstände der einzelnen Theile des Schliessungskreises,

$l_1\ l_2 \ldots$ ihre Längen;

$q_1, q_2 \ldots$ ihre Querschnitte;

$r_1, r_2 \ldots$ ihre specifischen Widerstände;

$v$ den Widerstand in einer Spule der Armatur (des Ringes);

$V$ den gesammten Widerstand im Inductorring;

$W$ den gesammten äusseren Widerstand und

$n$ die Spulenanzahl,

so kann man, ohne sich auf weitere Ableitungen einzulassen, folgende Formeln als zum Ohm'schen Gesetze gehörig aufschreiben:

$$I = \frac{E_1 + E_2 + \ldots}{w_1 + w_2 + \ldots} = \frac{E_1 + E_2 + \ldots}{\frac{l_1\, r_1}{q_1} + \frac{l_2\, r_2}{q_2} \ldots} = \frac{\Sigma E}{\Sigma \frac{l\, r}{q}} = \frac{E}{W} \quad 1.$$

$$I = \frac{n\, E}{n\, v + W} = \frac{E}{v + \frac{W}{n}} \quad \ldots\ldots 2.$$

$$n = \frac{I}{E - I\, v} \cdot W = \frac{W}{\frac{E}{I} - v} \quad \ldots\ldots 3.$$

$$v = \frac{n\, E - I\, W}{n\, I} = \frac{E}{I} - \frac{W}{n} \quad \ldots\ldots 4.$$

$$W = \frac{n\, E - n\, v\, I}{I} = \frac{n\, E}{I} - n\, v \quad \ldots\ldots 5$$

$$E = \frac{n\, v\, I + I\, W}{n} = I\left(\frac{W}{n} + v\right) \quad \ldots\ldots 6.$$

und lässt sich daraus weiter folgern, dass

$$I\,(m\,a\,x) = \frac{n\, E}{n^2\, v + W} \quad \ldots\ldots\ldots 7$$

wenn
$$\frac{(E\, n^2\, v + W) - 2\, n^2\, v\, E}{(n^2\, v + W)^2} = 0 \qquad \text{oder}$$
$$W = n^2\, v$$

wobei vorausgesetzt wurde, dass die Spulen im Inductorring hintereinander geschaltet sind. Es wird noch gezeigt werden, dass Formel 7 beim Betriebe elektrodynamischer Maschinen nicht unverändert anwendbar ist, und modificirt werden muss.

Die Stromstärke einer Maschine hängt daher von der Grösse der elektromotorischen Kraft ab und wird durch die Widerstände modificirt. Nun wurde schon im

Abschnitte IV gezeigt, dass eine elektromotorische Kraft erzeugt wird, wenn man einen geschlossenen Stromleiter in einem magnetischen Felde bewegt, nur darf die Bewegungs-Richtung nicht etwa normal auf den Kraftcurven stehen, und ist diese elektromotorische Kraft proportional der Intensität des magnetischen Feldes, der Componente der Geschwindigkeit normal auf die Kraftcurven, und der Projection des Elementes auf eine Gerade, welche gleichzeitig senkrecht auf den Kraftcurven und auf der eben erwähnten Geschwindigkeits-Componente steht, kurz, die elektromotorische Kraft in elektrischen Maschinen ist der Intensität des Magnetismus ($M$), der Anzahl der Windungen in der Armatur und der Rotations-Geschwindigkeit ($o$) direct proportional, daher

$E = M\,n\,o$ und ferner $I = \frac{M\,n\,o}{W}$.

Nur gilt letztere Formel allerdings nur für magnet-elektrische Maschinen, bei denen der wirksame Magnetismus eine constante Grösse ist.

Bei dynamo-elektrischen Maschinen ist $M$ eine Function von $I$ und daher

$$\frac{I}{n\,M} = \frac{I}{f\,(I)} = \frac{o}{W} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 8,$$

d. h. die Stromstärke aus einer dynamo-elektrischen Maschine ist, der Tourenzahl direct, dem gesammten Widerstande umgekehrt, proportional, dem Magnetismus dagegen nicht proportional.

Es muss jedoch betont werden, dass man trachten soll, der Proportionalität zwischen Magnetismus und Stromstärke möglichst nahe zu kommen, um die besten

Effecte erzielen zu können, weswegen man auch gut thun wird, für jede Maschine das beste Verhältniss zwischen Tourenzahl und Stromstärke zu ermitteln, was keinen besonderen Schwierigkeiten unterliegt. Von der zweckmässigsten Tourenzahl wird später gesprochen.

Je nach dem Durchmesser des zur Armatur verwendeten Drahtes wird man intensive oder quantitative Elektricität induciren, die elektromotorische Kraft aber ist bei gleichen Massen — constanten Magnetismus und gleichbleibende Geschwindigkeit vorausgesetzt — immer gleich, denn Lenz und Jacobi haben gezeigt, dass dieselbe vom Radius des Ringes sowie von der Drahtdicke und dem specifischen Leitungsvermögen unabhängig ist.

Der Widerstand, von dem in zweiter Reihe der Stromeffect abhängt, addirt sich bekanntlich aus dem inneren (wesentlichen) und aus jenem Widerstande, den der erzeugte elektrische Strom ausserhalb der Elektricitätsquelle zu überwinden hat. Der innere Widerstand ist durch die Summe der Werthe $\frac{l\,r}{q}$ (Formel 1, S. 90) der einzelnen Spulen gegeben.

Vermehrt man nun in einer Maschine die Anzahl der Windungen, so wird wohl die elektromotorische Kraft, gleichzeitig aber auch der innere Widerstand erhöht. Die Ermittelung der Windungszahl oder Windungsschichten für eine elektrische Maschine ist daher ebenso nöthig u. zw. aus demselben Grunde, wie wenn bei gegebener elektromotorischer Kraft eines galvanischen Elementes die Anzahl und der innere Widerstand der Elemente zu ermitteln ist, dass der Nutzeffect in einem gegebenen äusseren Leiter ein Maximum wird.

Es bezeichne:

*e* die elektromotorische Kraft einer Spirale bei constantem Magnetismus und gleichbleibender Rotations-Geschwindigkeit;

*n* die Anzahl der Spiralen;

*v* den mittleren Widerstand einer Spirale;

*W* den Widerstand im äusseren Stromkreise und

*P* eine in diesem etwa zu überwindende (elektromotorische) Gegenkraft,

so sei:

$$n e = 2 P \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1.$$

ferner

$$n v = W \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2.$$

und daher

$$n = \frac{2 P}{e} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3.$$

$$v = \frac{W e}{2 P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4.$$

Die mittlere Länge einer Spirale, welche durch die Dimension und Form der Armatur bestimmt ist, sei *C*, *r* bezeichne wieder den specifischen Widerstand und *x* den Durchmesser des blanken Drahtes, so ist:

$$\frac{4 r C}{\pi x^2} = v \text{ oder}$$

$$x = \sqrt{\frac{8 r C}{\pi} \; \frac{P}{W e}} \quad \ldots \quad 5.$$

Wenn nun *a* die Dicke der Isolirung, so ist $x + 2 a$ der Durchmesser des umsponnenen Drahtes, und es wird der Rauminhalt, den die Spirale einnimmt, gegeben sein durch

$$n C (x + 2 a)^2$$

während der Flächeninhalt des Normalschnittes der Rinne, welche die Spirale aufnehmen soll =

$$n\ (x + 2\ a)^2.$$

Daraus ergeben sich nun die beiden Dimensionen eines Querschnittes; dividirt man dann die Höhe durch $x + 2\ a$, so ergiebt sich die Anzahl der Schichten, und durch Division der Breite mit $x + 2\ a$ erhält man die Anzahl der Windungen in einer Schicht.

Es wurde schon zweimal in diesem Abschnitte darauf hingewiesen, dass das Maximum der Stromstärke erzielt wird, wenn der innere Widerstand gleich gehalten wird dem Widerstande im äusseren Leiter.

Es ist dies eine Ableitung aus den Ohm'schen Formeln, die aber durch die Erfahrungen beim Betriebe elektro-dynamischer Maschinen nicht bestätigt wurde, und daher in der Praxis unberücksichtigt bleiben, beziehungsweise modificirt werden muss. Uppenborn behauptet in der Zeitschrift für angewandte Elektricitätslehre Bd. IV, S. 32, der Maximaleffect sei dann zu erzielen, wenn der innere Widerstand circa $^3/_7$ des äusseren Widerstandes betrage, und scheint es, dass dieses Verhältniss den Thatsachen besser entspreche als obige theoretische Ableitung, die zwar unanfechtbar ist, eigentlich aber ausschliesslich den idealen Nutzeffect angiebt.

Es ist bekannt, dass der elektrische Strom in seinem Leiter die Temperatur erhöht, und ist nach Joule die Temperatur-Erhöhung (Wärme-Erzeugung)

$$W = m\ i^2\ w\ t,$$

wenn $m$ die in der Längeneinheit in der Zeiteinheit $t$ erzeugte Wärmemenge, $w$ den Widerstand, und $i$ die Stromstärke bezeichnet.

Man schreibt die Formel für das Joule'sche Gesetz auch kurz:

$$W = i^2 w.$$

Diese Wärme-Erzeugung ist die Folge der Ueberwindung des Leitungs-Widerstandes, also einer Arbeitsleistung, und da diese Arbeit bei der elektrischen Kraftübertragung einen Verlust an Nutzkraft bedeutet, so muss die Wärme-Erzeugung in allen Theilen des Leiters auf ein Minimum gebracht werden. Dies geschieht durch die Wahl eines wenig Widerstand bietenden Materiales zur Leitung, und eines Drahtes von möglichst starkem Querschnitte; bei plattgedrückten Leitern wird eine geringere Wärme-Erregung als bei runden zu beobachten und daher weniger Arbeitsverlust zu beklagen sein.

Ein weiterer Arbeitsverlust ist beim Betriebe elektrodynamischer Maschinen durch die Bildung von Funken am Collector bei der Strom-Ableitung zu verzeichnen. Diese Funkenbildung zwischen den Collectorspangen und den Metallbürsten erklärt Prof. Stefan wie folgt: Die Bürsten liegen an jenen Collectorspangen auf, die zu Spulen führen, welche jeweilig in der neutralen Zone liegen. Damit aber Unterbrechungen des elektrischen Stromes vermieden werden, ist die Einrichtung getroffen, dass die Bürsten, bevor sie die betreffende Spange verlassen, schon auf der nächsten Spange aufliegen, dadurch wird die zugehörige Spule kurz geschlossen, und der in derselben inducirte oder noch circulirende Strom findet eine Ausgleichsstelle, die zu erreichen er so viel Kraft äussert, dass er die kleinen Luftwiderstände bei der Annäherung der Bürsten in Form von Funken überwindet.

Dadurch werden nun alle theoretischen Berechnungen über die aus einer Maschine zu erzielenden Effecte wesentlich alterirt, denn erstens ist die in den ausgeschalteten 2 Spulen eines Ringes wirkende elektromotorische Kraft für den äusseren Stromkreis verloren, zweitens ist zu berücksichtigen, dass die Bürsten, deren Schleifcontact auf den Spangen des Collectors ohnehin einen unberechenbaren variablen Leitungs-Widerstand zur Folge hat, durch die Funkenbildung bedeutend erwärmt und dadurch deren Leitungsfähigkeit vermindert wird; durch den letzteren Umstand wird aber nach dem Joule'schen Gesetze auch die Wärme-Erregung gesteigert, so dass hier eine wesentliche Schranke bezüglich der Ausnützung elektrischer Maschinen gezogen ist, eine Schranke, die allerdings durch die grössere oder geringere Genialität der verschiedenen Constructeure wieder weniger empfindlich gemacht wird.

Nach weitverbreiteten Ansichten steigt die Stromstärke einer Maschine im selben Verhältnisse wie die Tourenzahl. Es beruht diese Ansicht auf den Resultaten einiger mit dynamo-elektrischen Maschinen in den Jahren 1873—1874 angestellten unvollkommenen Versuche, und zeigt nachstehende Zusammenstellung die Aenderung der Stromstärke bei wachsender Tourenzahl und die Aenderungen der Stromverhältnisse bei geänderten äusseren Widerständen. Diese Resultate stammen von Experimenten, die bei Siemens & Halske in Berlin mit deren dynamo-elektrischen Maschinen angestellt wurden.

Die Stomstärke ist in »Webers«, die elektromotorische Kraft in »Daniells«, der Widerstand in »Siemens-Einheiten« ausgedrückt. Beim Versuch I betrug der

Gesammt-Widerstand 2·77 S.-E., beim Versuch II 1·51 S.-E.

| Bei Touren pro Minute | I | | II | |
|---|---|---|---|---|
| 100 | $S =$ 0·30 | $E =$ 0·83 | $S =$ 0·88 | $E =$ 1·29 |
| 200 | = 0·58 | = 1·61 | = 14·70 | = 23·08 |
| 300 | = 7·18 | = 20·03 | = 33·60 | = 52·08 |
| 400 | = 19·90 | = 55·92 | = 45·90 | = 72·06 |
| 500 | = 30·10 | = 84·89 | = 58·50 | = 85·40 |
| 600 | = 40·20 | = 108·14 | = 65·60 | = 103·80 |
| 700 | = 44·70 | = 122·48 | | |
| 800 | = 50·40 | = 142·12 | | |
| 900 | = 55·70 | = 150·95 | | |

Für die erste Reihe gestaltete sich dabei das Verhältniss der Tourenzahl zum Gesammt-Widerstande $\frac{o}{W}$ (Formel 8, Seite 91), der wirksame Magnetismus $\frac{E}{n\,o}$ auf folgende Weise:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Bei 100 Touren | $\frac{o}{W} =$ 36 | $\frac{E}{n\,o} =$ 0·000028 |
| » 200 » | = 70 | = 0·000028 |
| » 300 » | = 108 | = 0·000232 |
| » 400 » | = 145 | = 0·000485 |
| » 500 » | = 180 | = 0·000589 |
| » 600 » | = 217 | = 0·000626 |
| » 700 » | = 252 | = 0·000607 |
| » 800 » | = 289 | = 0·000612 |
| » 900 » | = 325 | = 0·000582 |

Hieraus erhellt, dass das Maximum des wirksamen Magnetismus bei dieser Versuchs-Maschine und unter

diesen speciellen Verhältnissen mit 600 Touren erreicht wurde.

Jede Veränderung der den Magnetismus bestimmenden Factoren wird auch den Maximalpunkt desselben verrücken.

Aendert man z. B. den äusseren Widerstand bei gleichbleibender Tourenzahl (400 in der Minute), so erhält man folgende Erscheinungen:

| Bei einem Gesammmt-Widerstande von S.-E. | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0·73 | ist $\frac{o}{W}$ = 548 | $\frac{E}{n\,o}$ = 0·000603 | bei $I$ = 95·2 |
| 1·01 | = 396 | = 0·000623 | = 71·1 |
| 1·37 | = 292 | = 0·000635 | = 53·4 |
| 1·57 | = 255 | = 0·000626 | = 45·9 |
| 2·04 | = 196 | = 0·000600 | = 33·9 |
| 2·54 | = 157 | = 0·000571 | = 25·9 |
| 2·83 | = 141 | = 0·000489 | = 19·9 |

Die vorstehende Tabelle zeigt deutlich, wie veränderlich wirksamer Magnetismus und Stromstärke bei veränderlichem Gesammt-Widerstande wird, und da bei elektrischen Eisenbahnen fortwährende Widerstands-Veränderungen in der Natur der Sache gegeben sind, so ist es auch klar, welche Schwierigkeiten der Erhaltung gleicher Stromstärke und gleichbleibender Kraftäusserung der Motoren in den Waggons entgegenstehen.

Diese Schwierigkeiten sind in erster Reihe durch die gute Construction der Maschine zu verringern. Man stelle also an eine gute elektro-dynamische Maschine folgende Ansprüche:

1. Der Leitungs-Widerstand im Ring-Inductor sei dem mittleren äusseren Widerstande nach den vorstehend ausgeführten Regeln angepasst.

2. Alle Drahttheile im Inductor sollen der inducirenden Wirkung der Magnete möglichst ausgesetzt sein, und sollen alle Spulen und Spulentheile sich gleichmässig an der elektromotorischen Erregung betheiligen.

3. Die im Ring-Inductor auftretende Extra-Strombildung ist möglichst einzuschränken; dies geschieht durch Anbringung möglichst vieler Spulen am kreisförmigen Eisenkern, damit die Zahl der Spulen, in denen nebeneinander gleichzeitig Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt werden, möglichst klein sei.

4. Den Foucault'schen Strömen, die in geschlossenen Metallmassen inducirt werden, ist die Strombahn abzuschneiden, weil diese Strömchen keine Arbeit leisten, daher in Wärme umgesetzt werden, wodurch der Magnetismus geschwächt, der Widerstand der Leiter erhöht, und daher die Inductionskraft verringert wird.

5. Die inducirende Kraft des Magnetismus ist möglichst auszunützen, daher die Inductions-Spulen in möglichste Nähe an die Pole gebracht werden müssen. Ausser den Magnetkernen und dem Kerne des Inductorringes seien alle Bestandtheile der Maschine, insbesondere auch die Grundplatte, aus diamagnetischem Materiale. Grosse magnetisirbare Körper, welche die Kraft der Magnete vertheilen können, sind aus der Nähe der Maschine zu entfernen.

6. Die Funkenbildung am Commutator ist möglichst zu beschränken; bei Verwendung hochgespannter Ströme, wobei auch diese Funkenbildung stärker auftritt, sind

zur Verhinderung der letzteren geeignete Vorrichtungen anzubringen.

7. Die Lagerung der Ringachse sei eine ausreichende und biete bei der Rotation einen geringen Widerstand, ermögliche aber bei entsprechendem Kraftaufwande eine gleichmässige Rotation. Die Schmierung der Achslager sei verlässlich und so eingerichtet, dass die Verunreinigung der Collector-Spangen durch das Schmier-Material unmöglich wird.

8. Die Construction sei im Ganzen einfach; sie ermögliche den leichten Zugang zu jenen Theilen, die beim Betriebe einer Regulirung bedürfen, oder eventuell Schaden erleiden, um die Reparatur ohne Schwierigkeit vornehmen zu können.

9. Der Erwärmung der Maschine ist in jeder Richtung vorzubeugen; die Isolirungen der Leitungsdrähte und Leitungsanschlüsse seien jedoch derart, dass sie zufällige stärkere Erwärmungen ertragen können, ohne dass eine Zerstörung oder Beschädigung der Maschinentheile zu befürchten ist.

10. Das Gewicht der Maschine soll nicht unnütz erhöht sein; die solide Verbindung aller einzelnen Theile sei derart, dass ein Lockerwerden auch dann unmöglich ist, wenn ausserordentlich starke primäre Kräfte auf die Maschine einwirken.

Entspricht eine Maschine bei der beabsichtigten Leistung allen diesen Bedingungen, so ist eine regelmässige Function derselben bei guter Instandhaltung für eine lange Zeit zu gewärtigen.

# VI.

## Die elektrische Kraftübertragung.

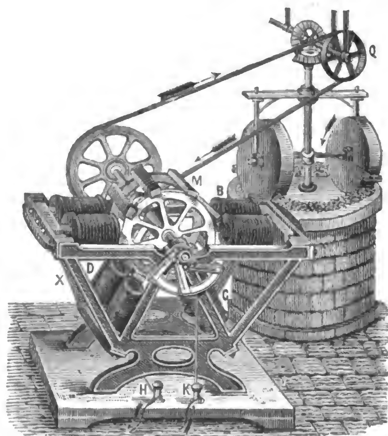
Aufgabe bei der Construction elektrischer Motoren. — Motoren-Systeme: Forment, Deprez, Bürgin. — Motor-System Stahl. — Erklärung der Kraftübertragung mittelst Dynamo-Maschinen. — Der Nutzeffect. — Theorie für Distanzbestimmung zur Kraftübertragung: a) mit dünnen Drähten, b) mit mehreren Maschinen. — O. Frölichs Vortrag am 23. Jänner 1883. — Graphische Darstellungen des Nutzeffectes bei verschiedenen Stromstärken, — bei verschiedenen Widerständen. — Der Prony'sche Zaum. — Das v. Hefner-Alteneck'sche Dynamometer. — Accumulatoren. — Ladung derselben. — Kraftaufwand und Kraftrückgewinn. — Kraftübertragung mittelst Accumulatoren.

Die Theorie der elektrischen Kraftübertragung ist schon im II. Bande dieser Bibliothek ausführlich behandelt und erschöpfend dargestellt. Im Verlaufe der nachstehenden Ausführungen soll nun so viel kurz wiederholt werden, als zum Verständnisse der Vorgänge beim elektrischen Bahnbetriebe nöthig ist.

Schon seit den dreissiger Jahren dieses Jahrhunderts ist man bestrebt Motoren zu bauen, welche durch die Kraft der Elektricität betrieben werden sollen. Alle diese Bestrebungen scheiterten, so lange es unmöglich war Elektricität in bedeutenden Mengen billig zu erzeugen, denn es war

die Aufgabe gestellt, Maschinen zu construiren, die, durch Elektricität in Bewegung gesetzt, eben so viel Kilogramm-Meter Kraft als eine gegebene Dampfmaschine liefern, und doch entweder weniger Unterhaltungskosten verursachen oder eine praktischere und vielseitigere Ausnützung gestatten.

Fig. 56.



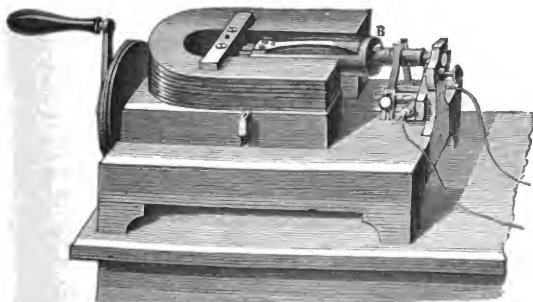

Nach der Pariser Weltausstellung 1867 präcisirte man, angeregt durch die Elektromotoren von Cazal aus Paris, der Compagnie électro-magnètique aus Birmingham und des Mr. Ladd aus London, die Aufgabe für elektrische Motoren wie folgt:

1. Man trachte mit einer geringen Quantität von Elektricität möglichst viel Nutzeffect zu erzielen und

2. sei man bestrebt, grosse Quantitäten elektrischer Ströme ohne Gefahr und auf möglichst billigem Wege zu erzeugen.

An der in erster Reihe angeführten Aufgabe arbeiteten die Mechaniker, an der zweiten die Elektriker. Wenn es die ersteren auch zu schönen Erfolgen gebracht haben, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft stellte sich der erhofften Lösung der ersten Aufgabe entgegen.

Fig. 57.




An allen Motoren aus dieser Zeit machten die Constructeure die Erfahrung von der Unumstösslichkeit der ewigen Wahrheit, dass sie mittelst ihrer Apparate nicht mehr Kraft erzeugen können, als ursprünglich aufgewendet wurde. Alle diese Motoren beruhten auf dem abwechselnden Angezogen- und Abgestossenwerden eiserner, durch den elektrischen Strom magnetisirter Körper. Diese sind um ihre eigene oder eine andere fixe Achse beweglich, wodurch dann, bei continuirlichem Strom-Wechsel Rotation erzeugt wird, die beliebig übertragen und ausgenützt werden kann.

Die Elektriker waren glücklicher!

Es ist heutzutage — Dank dem nimmer rastenden Forschungseifer — möglich, Elektricität in solchen Mengen und solcher Stärke herzustellen, u. zw. billig und ohne

Fig. 58.

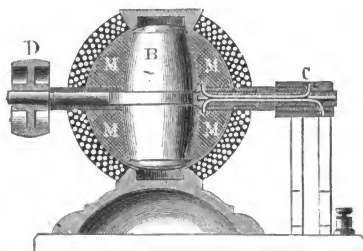
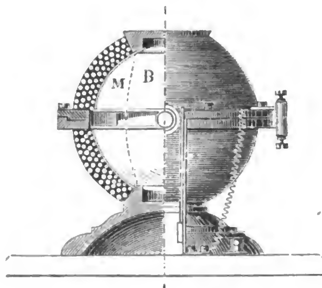



Fig. 59.




Gefahr herzustellen, dass die Aufgabe, Elektromotoren für die Praxis zu bauen, als der Lösung nahe, ja als gelöst hingestellt werden kann.

Es seien hier vorerst jene Motoren aufgezählt, die zwar nur sehr wenig praktische Verwerthung gefunden

haben, immerhin aber der Vollständigkeit halber dort angeführt werden müssen, wo von Elektromotoren im Allgemeinen gesprochen wird.

Fig. 56 zeigt den Motor Froment, der vielfach bei physikalischen Spielereien Verwendung findet (Modell elektrischer Bahnen, Wasserhebewerke etc.) und besonders geeignet ist, in Laien sehr irrige Anschauungen über die Ausnützbarkeit elektrischer Ströme zur Kraftleistung zu erregen.

Fig. 57 stellt einen Motor, System Deprez, dar, der schon praktische Anwendung gefunden hat, und seiner Zeit für eine bedeutende Errungenschaft galt.

Die Fig. 58 und 59 zeigen einen Motor, System Bürgin, bei welchem der alternirende Strom bereits durch einen constanten Strom ersetzt ist; immerhin wird aber der Betrieb dieses Motors per Pferdekraft und Stunde vorläufig noch 9 Mk. 70 Pf. kosten, also einen Betrag, der keines Commentars bedarf.

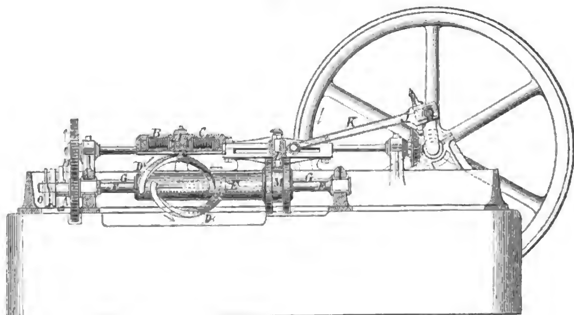
Ueber diese Motoren, sowie über jene von Trouvé und Borel giebt Japing's treffliches Buch (Bd. II dieser Bibliothek) ausführlichen Aufschluss.

Weniger bekannt ist der Elektromotor, System Stahl. Es ist dies, wie die Fig. 60 und 61 andeuten, eine horizontale Alternativ-Maschine, die sich durch langen Hub (18 Cm.) auszeichnet. Die Elektromagnete arbeiten hiebei ausschliesslich, d. h. sie werden nicht durch die Bewegung des Schwungrades, wie dies bei den früher angeführten Motoren der Fall ist, unterstützt. Die Anziehungskraft = 2355 Kgr., Hub der Armatur = 2 Mm., Hub der Walze = 90 Cm. $N$ ist ein Unterbrecher; die

Elektromagnete *B* und *C* werden besser in der durch Fig. 64 dargestellten Form ausgeführt.

Beschreibung. Eine aus weichem Eisen bestehende Armatur *A*, die durch zwei Geleise geleitet wird, bewegt sich abwechselnd von einem Elektromagneten zum andern, ihr Hub beträgt 2 Mm. Ihre untere Seite ist mit einem, eine Frictionsrolle tragenden Zapfen *a* versehen. Die Rolle berührt fortwährend eine der beiden schraubenförmigen,

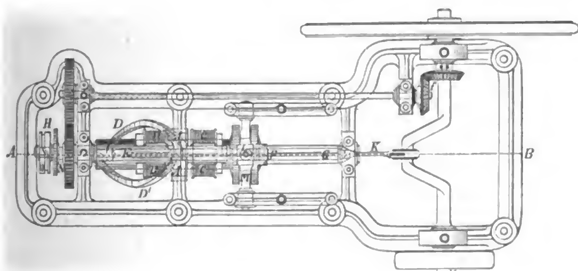
Fig. 60.



mit der Walze *E* fest verbundenen Schienen $D\ D_1$. Diese Walze ist ausser ihrer mit der Welle *F* getheilten Kreisbewegung noch vermittelst des sie leitenden Keiles *G* eines gradlinigen Gleitens fähig. Die Welle erhält ihre Bewegung vermittelst der querliegenden gebogenen Welle, der Stirnräder *H* und der Konusräder *I*. Die Welle *F* bewegt sich immer nur im Augenblicke der Unterbrechungen, folglich immer leer. Die Stange ist einerseits mit der gebogenen Welle, andererseits mit der Frictionsrolle *L* verbunden, und dreht sich letztere in der an

der Walze $E$ angebrachten Kehle $M$. Der Unterbrecher $N$ hat die Aufgabe, den elektrischen Strom, so oft es der 18 Centimeter lange Hub erfordert, zu unterbrechen. Der Zapfen $a_1$ mit der Armatur fix verbunden, theilt die rasche Hin- und Herbewegung der letzteren; ihr Hub beträgt, wie schon betont, nur 2 Mm. Jede der beiden schraubenförmigen Schienen schiebt sich in ihrer Kreisbewegung vor die Frictionsrolle und zwar so, dass bei

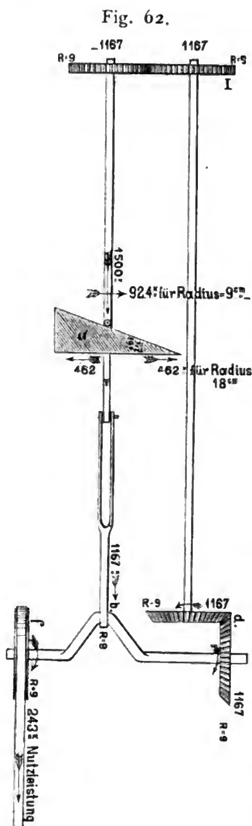
Fig. 61.




jedem Zurückziehen letzterer die respective Schiene sich ihr nachschiebt. Dies ist ein wichtiges Moment, weil sonst das dadurch verursachte, unaufhörliche Hämmern der sich berührenden Flächen nach und nach Beschädigungen der letzteren verursachen würde. Die Schiene muss also der Frictionsrolle stets tangent bleiben. Nun kann aber die Frictionsrolle, deren Hub nur 2 Mm. misst, als unbeweglich angesehen werden, und ist es demnach die schief vor ihr herabgleitende Schiene, welche nachgeben muss, und weil letztere mit der Walze $E$ eng verbunden ist, so wird diese die nämliche Richtung befolgen. $E$ ist

nun aber von der Stange $K$ abhängig und so wird endlich die auf die gebogene Welle wirkende Stange die Umdrehung der letzteren und des Schwungrades bewirken. So viel zur Erläuterung des Apparates. Die Berechnungen zu einer solchen für 3 H. P. geplanten Maschine stellen sich wie folgt: In den theoretischen Hilfsfiguren Nr. 62 und 63 ist die schraubenförmige Schiene durch eine schiefe Ebene (einen Keil) $a$ ersetzt, deren Winkel $\alpha = 19^0$ ist. Die durch den Elektromagnet bestimmte und auf sie wirkende Anziehungskraft beträgt 1500 Kgr.

Fig. 62.




Der Radius der gebogenen Welle (Kurbel) $b$ misst 9 Cm.; daraus entsteht für die Walze $E$ ein Hub von 18 Cm. Der Radius der konischen Räder $d$ und der Stirnräder $H$ hat ebenfalls 9 Cm. Der Radius des idealen Cylinders, um welchen sich die beiden Schienen winden, beträgt 18 Cm., d. i. der doppelte Radius der gebogenen Welle. Der durch die Anziehungskraft der Elektromagnete auf die Schiene ausgeübte reducirte Druck

$$A = 1500 \text{ Kgr.}$$

Dieser Druck ist eigentlich das Resultat zweier Kräfte, deren eine in der Richtung der erzielten Bewegung wirkend,

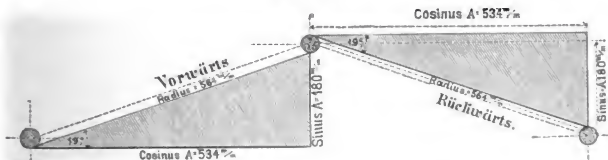
$$P = 1167 \text{ Kgr.}$$

und deren andere, senkrecht auf diese wirkend und die Schiene rückwärts drängend,

$$P_1 = 462 \text{ Kgr.}$$

Es muss ihr folglich eine Kraft entgegenwirken, die das Zurücktreten der Schiene verhindert.

Fig. 63.




Da nun der Radius des idealen Cylinders gerade doppelt so gross als jener der gebogenen Welle ist, wird demnach die entgegenwirkende Kraft

$$2 \times P_1 = 924 \text{ Kgr.}$$

sein müssen. Diese Kraft ist verloren. Ziehen wir sie von der auf die gebogene Welle wirkenden Kraft ab, so ergiebt sich für die durch die Treibrolle $f$ gelieferte Nutzleistung

$$x = P - 2\,P_1 = 1167 \text{ Kgr.} - 924 \text{ Kgr.} = 243 \text{ Kgr.}$$

Nun ist allerdings noch die Gleitgeschwindigkeit der Walze $E$ zu bestimmen:

Angenommen die Anzahl der Unterbrechungen belaufe sich per Secunde auf 120, d. h. die Armatur mache

120 ganze oder 240 einfache Schwingungen (von 2 Mm.), so entsteht für die Walze eine Gleitgeschwindigkeit von 120 Mm. per Secunde.

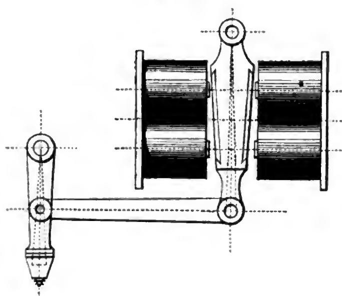
Nun benöthigt man aber zur vollständigen Umdrehung des Schwungrades den doppelten Hub und der beträgt:

$$l = 2 \times 180 \text{ Mm.} = 360 \text{ Mm.}$$

für jede Umdrehung braucht man daher

$$\frac{360}{120} = 3 \text{ Secunden,}$$

Fig. 64.



und demnach macht das Schwungrad 20 Umdrehungen in der Minute.

Das Product der Kraft in die Gleitgeschwindigkeit giebt die Nutzleistung d. i. $T = 243$ Kgr. $\times$ 120 Mm. $= 29$ Km. $= 0{\cdot}38$ Pferdekraft. Das ist mit Bezug auf die primäre Kraft per 1500 Kgr. ein sehr geringer Effect. Woran liegt das?

1. In der bis auf 243 Kgr. sinkenden Kraft, veranlasst durch die Anwendung der schiefen Ebene;

2. in dem geringen Hube (2 Mm.) der Frictionsrolle. Man kann dem leicht abhelfen.

1. Sind in den Schienen treppenähnliche Einschnitte gemacht, so wird die Frictionsrolle fortwährend auf senkrechte Flächen drücken und folglich der Triebrolle volle 1500 Kgr. mittheilen. Die Einschnitte gehen in einander durch passende, jedem Stosse ausweichende Curven über.

2. Wendet man statt des directen Armaturansatzes für die Frictionsrolle die in Fig. 64 dargestellte Hebelverbindung an, so wird dadurch der Hub der Frictionsrolle verlängert, und beträgt nunmehr für jede einfache Schwingung nicht mehr 2, sondern 8 Mm. Das Verhältniss der beiden Hube ist 2 : 8, d. i. 4 und die übertragene Kraft beträgt nun wohl auch nur das Viertel der primären Kraft, aber die Geschwindigkeit wird eine erhöhte sein. Angenommen, dass sich die Unterbrechungen per Secunde auf 100 belaufen, so giebt das für die Frictionsrolle 100 ganze Schwingungen. Die Gleitgeschwindigkeit der Walze beträgt nun per Secunde:

$$100 \times 8 = 800 \text{ Mm.},$$

der doppelte Hub beträgt 260 Mm., woraus folgt, dass das Schwungrad per Secunde

$$\frac{800}{360} = 2{\cdot}22 \text{ Umdrehungen}$$

oder per Minute $2{\cdot}22 \times 60 = 133{\cdot}2$ Umdrehungen machen wird.

Das wäre die neue Geschwindigkeit, und die Berechnung der nun resultirenden Nutzkraft wird ein besseres Resultat erweisen.

Die primäre Kraft, auf ein Viertel reducirt, beträgt 375 Kgr., die Geschwindigkeit der Walze ist 0·800 Mtr. per Secunde, so giebt das für die theoretische Arbeit

$$T = 375 \text{ Kgr.} \times 0{\cdot}800 \text{ Mtr.} = 300 \text{ Km.}$$

oder

$$T = \frac{300}{75} = 4 \text{ H. P.}$$

Es sei nun 0·75 der Reductions-Coëfficient für Reibung und andere Widerstände, so bleiben als ausnützbare Arbeit der Maschine:

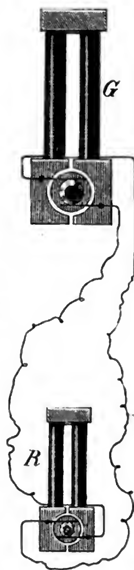
$$T = 0{\cdot}75 \times 4 \text{ P. S.} = 3 \text{ Pferdekräfte.}$$

Durch Vergrösserung des Radius der gebogenen Welle, durch Vergrösserung der Anziehungskraft, kann man den Nutzeffect einer solchen Maschine wesentlich u. zw. im ziemlich directen Verhältnisse erhöhen. Erfahrungen darüber, ob sich alle diese Verhältnisse in der Praxis dauernd bewähren, liegen leider nicht vor, immerhin ist es empfehlenswerth, gerade diese Motor-Construction auch jetzt noch der Aufmerksamkeit berufener Constructeure zu empfehlen.

Keiner der vorerwähnten Motoren ist zum Betriebe elektrischer Bahnen benützt worden, man kann auch mit einiger Berechtigung annehmen, dass sich dieselben zu diesem Zwecke nicht ohne wesentliche Aenderungen geeignet hätten. Derartige Motoren zum Betriebe von Wasserfahrzeugen, von Nähmaschinen, von Drehbänken, von Werkzeugmaschinen, von Ventilatoren etc. zu benützen, wurde häufig und in neuester Zeit wohl auch mit einigem Erfolg versucht, in ernstlichen Betracht hat man dieselben aber wohl kaum ziehen können. Heutzutage ist das anders! Da jede Elektrodynamo-Maschine auch als elektrischer Motor angesehen werden kann und die Principien der elektrischen Kraftübertragung nicht nur bekannt, sondern grossentheils auch theoretisch erforscht und wenigstens für die einfachsten Fälle sicher gestellt sind, steht die praktische Verwerthung der elektrischen Motoren bei den Elektrikern ausser allem Zweifel, und wenn auch das grosse Publikum den Principien der

elektrischen Kraftübertragung noch kein rechtes Vertrauen entgegenbringt, so soll es Aufgabe der wiederholten Elektricitäts-Ausstellungen sein, die elektrischen Motoren einzubürgern, und deren Ausnützbarkeit recht augenscheinlich zu demonstriren. Wie man zwei Dynamo-Maschinen zum Zwecke der Kraftübertragung ausnützt, soll im Nachstehenden gezeigt werden.

Fig. 65.




Zwei magnet-elektrische oder elektrodynamische Maschinen sind in der Weise mit einander durch einen metallischen Leiter verbunden, wie dies in Fig. 65 angedeutet wird.

Die erste Maschine *G* nennt Deprez, dem wir ausführliche Experimente über elektrische Kraftübertragung verdanken, den Generator *G*, und ist dies immer jene Maschine, bei welcher die Armatur durch den Angriff einer primären Kraft (Dampf-, Gas-, Wasser-Motor) in Rotation versetzt wird. Wenn nun der im Generator erzeugte elektrische Strom mittelst einer Leitung, die man mit Berücksichtigung der Gesetze für den Leitungswiderstand beliebig lang machen kann, in eine zweite Dynamo-Maschine, den Receptor *R*, derart eingeführt wird, dass in den Polschuhen die entgegengesetzten magnetischen Pole, im Eisenkern des Ringes aber auf den respectiven Seiten den vorerwähnten Polen gegenüber gleichnamige magnetische Pole erregt werden, so wirken diese abstossend, und man wird durch die doppelte Abstossung — Nord-

pol gegen Nordpol, Südpol gegen Südpol — eine Rotations-Bewegung und demnach eine Kraftleistung erhalten, die einerseits von der Stärke der im Generator erzeugten elektromotorischen Kraft, andererseits von dem Widerstande der Leitung und von einem anderen Factor abhängt, der sofort näher erläutert werden soll.

Durch die Rotation der Armatur im Receptor wird nämlich — wenn man auch diese Rotation durch den primären Strom aus *G* durch Polabstossung provocirt — nach den bekannten im vorigen Abschnitte weiter ausgeführten Gesetzen eine elektromotorische Kraft activ, die Potential-Differenzen erregt, welchen zum Ausgleiche ein geschlossener Leiter geboten ist, und zwar jener Leiter, der den elektrischen Strom aus dem Generator vermittelt und durch diesen auch geschlossen wird. Nun ist es aber klar, dass der im Receptor erzeugte elektrische Strom zu jenem aus dem Generator entgegengesetzt gerichtet sein muss, und daher zwei einander entgegenwirkende elektromotorische Kräfte auftreten, die den Nutzeffect nach Gesetzen modificiren, die bei der elektrischen Kraftübertragung zum Zwecke dynamischer oder magnetischer Arbeit wohl zu beachten sind.

Glaser de Cew wirft im I. Bande dieser Bibliothek die Frage auf: Welches muss das Verhältniss der elektromotorischen Kraft einer Maschine zu der verlangten äusseren Arbeit sein, um einen möglichst grossen Nutzeffect zu erhalten?

Es sei hier die dazu gegebene Antwort kurz recapitulirt:

Wenn $E$ die elektromotorische Kraft des Elektromotors,

$W$ der Gesammt-Widerstand,
$I$ der Strom ist, so resultirt aus dem Ohmschen Gesetze

$$E = W I \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 1.$$

Falls nun $I$ einfach durch einen Draht strömt, so wird in der Zeiteinheit eine bestimmte Wärmemenge producirt, die einer gewissen Arbeit $L$ entspricht, und ist nach dem Joule'schen Gesetze diese Arbeit

$$L = E I = \frac{E^2}{W} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 2.$$

Ist aber die durch den elektrischen Strom zu leistende Arbeit complicirt und hat derselbe eventuell auch noch eine elektromotorische Gegenkraft zu überwinden, so wird $I$ bei numerisch gleich gebliebenem Widerstande verringert. Die neue Stromstärke heisst $I_1$. Wenn man nun $t$ für die Zeit setzt, in der man vom Elektromotor in Wirklichkeit eine eben so grosse Elektricitäts-Menge erhält, als derselbe in der Zeiteinheit lieferte, da noch statt der elektromotorischen Gegenkraft der correspondirende einfache Drahtwiderstand eingeschaltet war, so erhält man

$$I = t I_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 3.$$

d. h es wird in der Zeiteinheit nur ein Theil der disponiblen elektrischen Energie in wirkliche Arbeit $l$ umgesetzt, welche der Stromstärke $I_1$ entspricht, während der übrigbleibende Theil $L_1$ sich nutzlos in der Form von Wärme im Stromkreise vertheilt.

Da nun Strom und Arbeit proportional sind, so ist nach Gleichung 3

$$L = (L + l)\, t \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 4.$$

und durch Elimination von $t$ aus den Gleichungen 3 und 4

$$\frac{L}{I} = \frac{L_1 + 1}{I_1} \quad \ldots\ldots\ldots 5.$$

Das Vorhandensein der elektromotorischen Gegenkraft — sie sei mit $e$ bezeichnet — ist die Ursache, dass nur ein Theil des Stromes für nutzbare Arbeit resultirt, während der andere Theil bei Ueberwindung jener Gegenkraft in Wärme umgesetzt wird.

Wir erhalten daher aus den Formeln 1 und 2:

$$I_1 = \frac{E - e}{W}; \quad L_1 = \frac{(E - e)^2}{W} \quad \ldots\ldots 6.$$

und aus den Gleichungen 5 und 2:

$$E = E - e + l\,\frac{W}{E - e} \quad \text{oder}$$

$$l\,W = e\,(E - e) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7.$$

Ist nun $i = I - I_1$ und setzt man

$$e = W i$$

so folgt aus Gleichung 7 und 1

$$l = W i\,(I - i) = W i\,I_1,$$

und da aus der Gleichung 1 gefolgert werden kann, dass

$$L = I^2 W$$

so erhält man, wenn für die Quotienten $\frac{i}{I}$, $\frac{I_1}{I}$ der Reihe nach $x$ und $y$ gesetzt wird

$$x + y = 1; \; x\,y = \frac{l}{L}.$$

Es sind demnach $x$ und $y$ die Wurzeln der quadratischen Gleichung

$$z^2 - z + \frac{l}{L} = 0$$

woraus folgt, dass

$$z = \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{l}{L}}$$

daraus erhellt, dass das Verhältniss $\frac{l}{L}$ nie grösser werden kann als $\frac{1}{4}$, mit anderen Worten, von der elektrischen Energie, welche der Strom liefert, wenn er keine Arbeit zu verrichten hat, beziehungsweise wenn er nur den inneren und den einfachen Drahtwiderstand des Schliessungsbogens überwindet, kann nur ein Viertel in andere Form von Energie (chemischen Process, mechanische Arbeit etc.) umgesetzt werden. Ist dieses Maximum der Umwandlung elektrischer Energie in nutzbare Arbeit erreicht, so ist:

$$i = \frac{1}{2} I; \;\; I_1 = i; \; e = \frac{1}{2} E; \; t = 2 \qquad 8.$$

d. h. Stromstärke und elektromotorische Kraft haben nur die Hälfte jenes Werthes, den sie haben würden, wenn der Strom bei gleichem Widerstande keine Nutzarbeit zu verrichten hätte, und daraus folgt der mit der Erfahrung übereinstimmende Satz:

Den grössten Nutzeffect erhält man von einem Elektromotor (Generator), wenn seine elektromotorische Kraft doppelt so gross ist als die während der Arbeitsleistung des Stromes im Receptor auftretende elektromotorische Gegenkraft.

Es wurde im Vorstehenden gezeigt, dass man mittelst zweier elektrischen Maschinen, die durch eine Leitung mit einander verbunden sind, eine Kraft vom

Standorte des Generators nach jenem Orte übertragen kann, wo der Receptor aufgestellt ist. Die doppelte Entfernung dieser beiden Orte ist gleich der Länge, die man der Leitung geben muss, und da die Länge der Leitung in der Formel 1 des vorigen Abschnittes bezüglich des Widerstandes einen ausserordentlich bestimmenden Einfluss ausübt, so scheint hier für die Entfernung, auf welche mittelst Elektricität Kraft übertragen werden kann, eine Grenze gezogen, die zwar nach theoretischen Erwägungen geleugnet werden kann, die sich aber in der Praxis nur allzusehr fühlbar macht. Es wurde schon betont, dass der beste Effect bei jeder Elektricitätsquelle erzielt werden kann, wenn man den inneren Widerstand gleich setzt $^3/_7$ des äusseren Widerstandes. Man hat demnach ein constantes Verhältniss, und wenn man bei gegebenem inneren Widerstande die Entfernung der beiden Motoren verlängern will, so muss man, um die Grösse des äusseren Leitungswiderstandes aufrecht zu erhalten, entweder das specifische Leitungsvermögen oder den Querschnitt des Leiters erhöhen, ersteres kann geschehen durch Verwendung eines besser leitenden Materials, also durch ein Mittel, das man selten anwenden wird, weil man zum Zwecke der Kraftübertragung ohnehin das am besten leitende Material (Kupfer) anwenden soll, insbesondere bei elektrischen Eisenbahnen wenn die Leitung nicht durch die Fahrschienen hergestellt wird.

Die Vergrösserung des Querschnittes eines Leiters hat natürlich auch ihre Grenzen, und hat man wiederholt und für viele Fälle ausgerechnet, dass bei Anwendung dieses Mittels zur Kraftübertragung auf sehr

grosse Distanzen, Drähte von so ausserordentlicher Dicke angewendet werden müssten, dass deren Anschaffung, Isolirung und Führung unerschwingliche Kosten verursachen würden.

Diese Schwierigkeit wäre bald Veranlassung geworden, dass man die elektrische Kraftübertragung in die Reihe der ungelösten Probleme gestellt und sich lohnenderen Fragen zugewendet hätte, wenn nicht Deprez, angeregt durch die vortrefflichen Arbeiten Frölich's, und wohl auch durch seine eigenen, allerdings nicht immer ganz correct angestellten Experimente, in das Gegentheil verfallen wäre und behauptet hätte, dass das Leitungsvermögen, beziehungsweise die Länge und der Querschnitt des Leiters bei der elektrischen Kraftübertragung überhaupt unwesentlich ist. Die Theorie kam ihm bei dieser Behauptung scheinbar zu Hilfe!

Wenn man (siehe Formel 2) die Arbeit $L$ unverändert lassen will, so braucht man bei gleichbleibender primärer Kraft, bei gleichbleibendem Effect am Receptor, und bei Verlängerung der Leitung, also bei Erhöhung des äusseren Widerstandes nur dafür zu sorgen, dass $\frac{E^2}{W}$ constant bleibt, d. h. dass $E$ sich genau so ändert, wie die Quadratwurzel von $W$, und wenn $\frac{e}{E} = L$ — die gewöhnliche Form, in welcher das Verhältniss der nutzbaren Arbeit zu den elektromotorischen Kräften dargestellt wird — constant bleiben soll, so muss sich natürlich auch $e$ in demselben Verhältnisse ändern. Fassen wir dieses Ergebniss theoretischer Betrachtung in ein Axiom zusammen, so lautet dieses:

Bei gleichbleibender primärer Kraft kann man trotz der Vergrösserung der Distanz, auf welche mittelst Elektricität Kraft übertragen werden soll, unveränderten Nutzeffect erzielen, wenn man nur dafür sorgt, dass sich die elektromotorischen Kräfte genau so verändern, wie das Quadrat des Widerstandes im Schliessungskreise.

Die Richtigkeit dieses Satzes kann, innerhalb gewisser Grenzen, auch experimentell bewiesen werden, nur hat die Anwendung desselben für praktische Verwerthung ein Häkchen, und soll dies an einem praktischen Beispiele gezeigt werden.

Angenommen, man hätte zwei Dynamo-Maschinen zum Zwecke der Kraftübertragung verbunden und wären dabei folgende Constanten ermittelt:

$E = 20$ Volts,
$e = 10$ Volts,
$W$ 10= Ohm, so ist:

$$L = \frac{E^2}{W} = \frac{20^2}{10} = 40,$$

$$N = \frac{e}{E} = \frac{10}{20} = 0{\cdot}5.$$

Verlängert man nun den im Querschnitte und der specifischen Leitungsfähigkeit gleichbleibenden Leiter um das sechzehnfache, also:

$W = 160$ Ohm,
so wird $E = 80$ Volts und
$e = 40$ Volts

genommen werden müssen, um die Werthe $L = 40$ und $N = 0{\cdot}5$ aufrecht erhalten zu können.

Schon dieses einfache Beispiel zeigt, wie hoch die Spannung steigt, wenn man die Leitung um einen verhältnissmässig geringen Widerstand vergrössert, und es dürfte angezeigt sein hier jene Constanten-Werthe anzuführen, die Deprez bei seinen bekannten Kraftübertragungs-Experimenten, welche er im Jahre 1882 zwischen München und Miesbach angestellt hat, ermittelte und die mit seiner Gutheissung veröffentlicht wurden. *)

| | | |
|---|---|---|
| Widerstand des Generators . . . | 470 | Ohm |
| Widerstand des Receptors . . . | 475 | » |
| Widerstand der 4 Mm. starken und 60 Km. langen Eisenleitung . . . | 950 | » |
| Gesammt-Widerstand: | 1895 | Ohm. |

Die Armatur im Generator machte 1600 Rotations-Touren, im Receptor 730 solcher Touren in der Minute; die Stromstärke wurde während dieser Versuche annähernd mit 0·4 Ampère gemessen, denn es war die elektromotorische Kraft $E = 1400$ Volts, die elektromotorische Kraft $e = 640$ Volts, weil

$$E = 830 + 0{\cdot}4\ (470 + 950) = 1400$$
$$e = 830 - 0{\cdot}4 \times 475 = 640$$

wobei 830 die an den Polen des Receptors gemessene Potential-Differenz in Volts bedeutet.

Diese Werthe bilden nun die Grundlage für die theoretische Beurtheilung der erhaltenen Effecte, und da ist es nun dringend geboten, immer genau zwischen elektrischer Arbeit und mechanischem Nutzeffect zu unterscheiden.

*) Hier nach Dr. A. Slaby E. Z. Heft I 1883.

Die elektrische Arbeit (der elektrische Nutzeffect) wird dargestellt durch das Verhältniss der elektromotorischen Kräfte

$$N = \frac{e}{E}.$$

Unter dem mechanischen Nutzeffect versteht man dagegen das Verhältniss der durch ein Brems-Dynamometer gemessenen mechanischen Arbeit des Receptors, zu derjenigen mechanischen Arbeit, die auf den Generator übertragen und ebenfalls mit dem Dynamometer gemessen wird.

Es ist aber die elektrische Arbeit

$$A = \frac{E \, . \, I}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9.$$

und es können demnach die Befunde über die Deprez'-schen Experimente in folgender Weise ausgedrückt werden:

(Generator) $A_1 = \frac{E\,I}{g} = 56$ Kgrm.

(Receptor) $A_2 = \frac{e\,I}{G} = 25{\cdot}6$ Kgrm. und

(der elektrische Nutzeffect) $N = \frac{e}{E} = \frac{640}{1400} = 0{\cdot}46$ Kgrm.

Da nun aber am Receptor mittelst eines Dynamometers 18·5 Kgrm. gemessen wurden, so kann man für den Receptor das Verhältniss zwischen mechanischer und elektrischer Arbeit ansetzen mit:

$$\frac{18{\cdot}5}{25{\cdot}6} = 0{\cdot}72,$$

und dem Generator mussten demnach:

$$\frac{56}{0{\cdot}72} = 78 \text{ Kgrm.}$$

primäre Kraft (Wasser) zugeführt worden sein, so dass der mechanische Nutzeffect gleich war:

$$\frac{18{\cdot}5}{80} = 0{\cdot}23.$$

Man ersieht hieraus, dass man zur Erzeugung so verhältnissmässig geringer mechanischer Nutzeffecte am Receptor, bei Verwendung dünner Drähte, elektrischer Spannungen bedarf, deren Isolirung solche Schwierigkeiten entgegenstehen, dass dem kundigen Fachmanne das Unvortheilhafte dieser Kraftübertragungs-Methode um so mehr klar sein muss, als Jeder weiss, wie schwer es schon an einem Ruhmkorff ist, eine sichere und verlässliche Isolirung der Windungen in der secundären Spirale zu erzielen, und wie leicht bei einem solchen Apparate die Isolirungen bei der geringsten Erhöhung der gestatteten Spannung durchgeschlagen werden, was natürlich die totale weitere Untauglichkeit des Instrumentes zur Folge haben kann. Bei elektrischen Maschinen für so hohe Spannungen aber ist diese Schwierigkeit im gleichen Maasse, als die Construction complicirter ist, erhöht.

Dass Maschinen und Anlagen für elektrische Ströme von hoher Spannung auch der Gesundheit, ja dem Leben der Menschen gefährlich sind, ist allgemein bekannt, und bestreben sich deswegen die Regierungen den Bau und die Ausführung derartiger Anlagen so einzuschränken, wie dies bei anderen maschinellen Anlagen bereits geschehen ist. Solchen Anordnungen steht aber die eine

Schwierigkeit entgegen, dass die Aerzte noch immer nicht genau bestimmen können, innerhalb welcher Grenzen elektrische Spannungen, beziehungsweise deren Entladungen dem normalen menschlichen Organismus ungefährlich sind.

In einer englischen Verordnung ist für Leitungen als die höchsterlaubte Spannung jene von 400 Volts nominirt. Wie sehr die verschiedenen Maschinen-Systeme diesbezüglich von einander abweichen, mag folgende vergleichende Zusammenstellung, die einem officiellen Befunde in England angestellter Messungen und Vergleichungen entnommen ist, zeigen.

| | Gramme-Maschine | Brush-Maschine |
|---|---|---|
| Kraftaufwand . . . . | 1125 Kgrm. | 2700 |
| Tourenzahl . . . . . | 500 pro Minute | 770 |
| Erzielte Lichtstärke . . | 27.000 N.-K. | 40.000 |
| Spannung . . . . . . | 90 Volts | 2200 |

Bei diesen Vergleichungen waren eine sogenannte Vierzig-Lichtermaschine, System Brush, und eine grosse Gramme-Maschine in Betracht gezogen.

Zwei Amerikaner, Thomson & Houston, haben zur elektrischen Kraftübertragung eine andere Methode, als Deprez anwendet, proponirt; leider sind auch dabei hohe Spannungen nicht zu vermeiden. Sie beruht auf sehr einfachen Betrachtungen. Angenommen die zur Kraftübertragung verwendeten Maschinen hätten folgende Constanten:

Generator $w$ . . . . . . . $= 0{\cdot}50$
Receptor $w_1$ . . . . . . . $= 0{\cdot}50$
Aeusserer Widerstand $W = 0{\cdot}01$

$$E - e = 1,$$

so erhält man nach dem Ohm'schen Gesetze

$$\frac{E - e}{w + w_1 + W} = \frac{1}{0{\cdot}50 + 0{\cdot}50 + 0{\cdot}01} = \frac{1}{1{\cdot}01}$$

Verlängert man nun die Entfernung, beziehungsweise Leitung zwischen Generator und Receptor derart, dass $W$ gleich wird 0·02, und nimmt man dann auch eine doppelte Garnitur von Dynamo-Maschinen, so erhält man nunmehr

$$\frac{1 + 1}{1{\cdot}01 + 1{\cdot}01} = \frac{2}{2{\cdot}02}$$

also eine doppelte Kraftübertragung auf doppelte Entfernung, und bei

$$\frac{1 + 1 + 1 \ldots\ldots}{1{\cdot}01 + 1{\cdot}01 + 1{\cdot}01 \ldots\ldots} = \frac{100}{101}$$

eine hundertfache Kraftübertragung auf hundertfache Entfernung, allerdings bei elektrischen Spannungen, deren Isolirung in der Leitung nach dem heutigen Stande der Technik wohl kaum zu ermöglichen sein dürfte, und deren Gefährlichkeit jede Hantirung mit Theilen einer solchen Leitung ausserordentlich erschweren würde. Die Brush-Compagnie plant für die Leitung ihrer, wie schon betont hochgespannten, elektrischen Ströme eine Kabel-Anlage, die sich voraussichtlich recht vortheilhaft erweisen und die Gefährlichkeit der Fortführung hochgespannter Ströme wesentlich vermindern dürfte.

Wie dem Verfasser mitgetheilt wurde, soll diese Kabel-Anlage auf nachstehend beschriebene Weise ausgeführt werden: Als Leitungsader werden alte eiserne Eisenbahn-Schienen verwendet, die jetzt billig zu haben sind, da auf den Eisenbahnen diese Schienen nach und nach durch Stahlschienen ersetzt werden. Die Eisen-

schienen werden in thönerne Röhren gelegt, und die Zwischenräume mit Asphalt und anderen isolirenden Schichten ausgegossen, so dass die Leitung in ihrer ganzen Länge wohl isolirt ist, und dort, wo es gewünscht wird, Elektricität abgegeben werden kann. Der Querschnitt einer solchen Leitung würde dann das in Fig. 66 gegebene Bild bieten.

Bei der Ausführung eines solchen Kabels kann man eventuell ohne Gefahr und mit vielen Vortheilen billige, vorhandene Naturkräfte (Wassergefälle) auf bedeutende Entfernungen übertragen, und deren Ausnützung bewerkstelligen, weswegen hier diese Möglichkeit noch durch ein praktisches Beispiel erläutert werden soll, das auch bei den Berechnungen für elektrische Eisenbahnen als Beispiel dienen kann.

Fig. 66.




Bei einem zur Kraftübertragung verwendeten Generator sei:

$w = 40$ Ohm,
$E = 200$ Volts,
beim Receptor $w = 60$ Ohm,
1 Km. Leitung $W = 1$ Ohm.

Vernachlässigt man $e$, so ist:

$$I = \frac{200}{60 + 40 + 1} = \frac{200}{101}.$$

Nimmt man nun 500 derartige Generatoren und die entsprechende Anzahl Receptoren, verlängert man ferner die Entfernung auf 500 Kilometer, so wird

$$I = \frac{200 \times 500}{101 \times 500} = \frac{200}{101}, \text{ d. h.}$$

die Stromstärke, die elektrische Arbeit ist unverändert geblieben, denn setzt man $e = 100$ Volts, so ist auch nach der Formel

$$N = \frac{e}{E}$$

in unserem Falle

$$N = \text{ bei einer Maschinen-Garnitur } \frac{100}{200}$$

$$N = \text{ bei 500 Garnituren } \frac{100 \times 500}{200 \times 500} = \frac{100}{200}.$$

Benöthigt man nun zum Betriebe des einen Generators etwa 5 Pferdekräfte, so wird man für 500 Generatoren 2500 Pferdekräfte benöthigen, und man erhält bei der Annahme eines fünfzigpercentigen mechanischen Nutzeffectes an den Receptoren 1250 H. P. zu weiterer Ausnützung.

Verursachen jene 2500 primären Pferdekräfte keine besonderen Kosten, wie dies bei Wasserfällen und künstlich hergestellten Wassergefällen leicht der Fall sein kann, so wird sich dieses System der Kraftübertragung eventuell nicht nur rentiren, sondern auch noch in anderer Beziehung von grossem Vortheile erweisen.

Bevor auf die für elektrische Eisenbahnen speciell wichtigen theoretischen Capitel weiter eingegangen wird, soll noch die Frage erörtert werden, wie denn die absolute Arbeit bei der elektrischen Kraftübertragung

gemessen wird, und diene hiezu folgende Betrachtung, durch welche auch Ergänzungen zu den im vorstehenden praktischen Beispiele gegebenen Ausführungen geboten sind:

Wird die Armatur des Generators in Rotation versetzt, so wächst die dadurch erzeugte Stromstärke so lange, bis deren elektromagnetische Wirkungen im Receptor so mächtig sind, dass durch die Abstossung der gleichnamigen Pole Rotation, beziehungsweise mechanische Arbeit geleistet wird. Ist nun eine gewisse Rotation im Receptor erreicht, so bleibt von da an die Stromstärke im Schliessungskreise constant; erhöht man die Tourenzahl im Generator, so wächst auch die Rotations-Geschwindigkeit im Receptor, wodurch wohl der mechanische Nutzeffect, nicht aber die Differenz $E—e$ erhöht wird.

Bezeichnet nun $R$ die Rotations-Geschwindigkeit, $P$ die Arbeit per Umdrehung, so ist für jede der beiden Maschinen die

$$\text{absolute Arbeit} = R\,P \quad . \quad . \quad 10.$$

und das Resultat der Kraftübertragung ist zu berechnen aus der relativen Rotations-Geschwindigkeit beider Maschinen und der absoluten Rotations-Geschwindigkeit einer jeden einzelnen Maschine.

Wären der Rotations-Geschwindigkeit nicht enge Grenzen gezogen, so wäre die Erhöhung der Tourenzahl das beste Mittel, um bei der elektrischen Kraftübertragung die ausserordentlichsten Effecte zu erzielen; vorläufig wird man zu diesem Zwecke aber entweder — nach Deprez — möglichst grosse Maschinen bauen,

oder, nach Anschauungen amerikanischer Elektrotechniker (darunter auch Edison), kleinere zusammengeschaltete Maschinen verwenden.

Eine derartige Anordnung wird in Fig. 67 veranschaulicht, und hat diese Schaltung unstreitig wesentliche Vortheile.

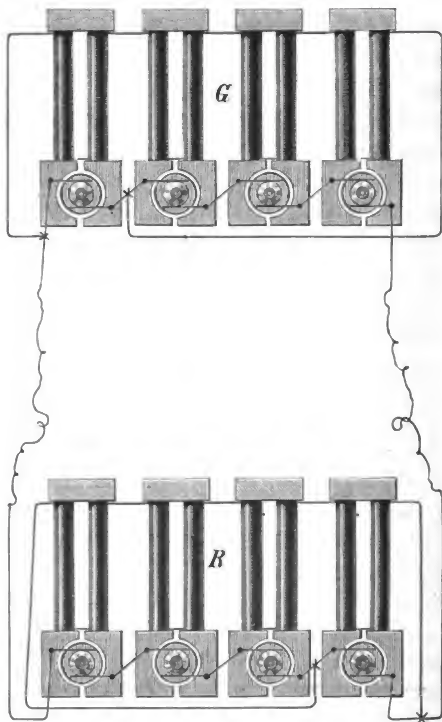
Kann man bei elektrischen Eisenbahnen die Verwendung hochgespannter elektrischer Ströme vermeiden — und das wird meistens der Fall sein — so wird sich dies immer empfehlen; nur dann, wenn der Generator sehr weit vom Receptor aufgestellt werden muss — und wenn auch die Führung einer Leitung von grossem Querschnitte unthunlich ist — wird es angezeigt sein, auf die vorstehenden Ausführungen zu reflectiren. Mit Berücksichtigung letzterer werden übrigens die Schlussfolgerungen für Maschinen zur Erzeugung quantitativer Ströme keine Schwierigkeiten bieten.

Herr Dr. O. Frölich hielt am 23. Jänner 1883 in Berlin bei der Jahres-Versammlung des elektrotechnischen Vereines einen Vortrag »Zur elektrischen Kraftübertragung«, der als die beachtenswertheste Kundgebung angesehen werden darf, welche über die Theorie dieses hochwichtigen Gegenstandes gemacht wurde, ein Vortrag der allen weiteren Arbeiten auf diesem Gebiete zur sicheren Grundlage dienen kann. Mit gütiger Genehmigung des Herrn Dr. Frölich ist im Nachstehenden ein Auszug aus diesem interessanten Vortrage angeschlossen.

Dr. O. Frölich beruft sich vorerst auf Experimente des Herrn Deprez, welche zeigen, dass die Zugkraft von der Stromstärke einzig und allein abhängt, und zeigt ferner die Construction jener Curven, welche

dieses Abhängigkeits-Verhältniss darstellen. Er beruft sich dabei auf seinen Artikel im »Electricien« vom

Fig. 67.




15. Juni 1882, in welchem er — vor Deprez — ausgesprochen hat, dass die Zugkraft im Wesentlichen blos von der Stromstärke abhänge, und bezeichnet die

Kenntniss der Relation zwischen Stromstärke und Zugkraft als ein Mittel, die Eigenschaften einer Maschine in Bezug auf die Kraftübertragung kennen zu lernen.

Er citirt diesen Artikel aus dem »Electricien«:

»Um alle Fälle der Praxis behandeln zu können, muss man auch die Maschinen ausserhalb des Maximal-Zustandes kennen, d. h. bei geringeren Geschwindigkeiten und geringeren Stromstärken.

Wenn man von den Inductions-Strömen absieht, hat man für die Arbeit die Gleichung

$$A = n . I . M . v$$

($n$ = Anzahl der Windungen auf dem Anker, $I$ = Stromstärke, $M$ = Magnetismus, $v$ = Geschwindigkeit.)

In dieser Gleichung wissen wir, dass $M$ eine Function der Stromstärke $I$ ist, also ist auch das Product $IM$ nur eine Function der Stromstärke. Dieses Product ist nichts anderes als die Zugkraft, welche bei der Maschine an dem Umfange der Riemscheibe herrscht (abgesehen von einem constanten Factor).

Um dieses Product zu studiren, schickt man Ströme von verschiedener Stärke in die Maschine bei gleichbleibender Geschwindigkeit, und misst die Zugkraft an dem Umfange der Riemscheibe, z. B. mit dem v. Hefner-schen Arbeitsmesser, wenn die Maschine getrieben wird, und durch den Prony'schen Zaum, wenn dieselbe treibt.

Wenn der Strom constant ist, z. B. im Maximum, und es ändert sich nur die Geschwindigkeit, so folgt aus der obigen Gleichung, dass die (verbrauchte oder geleistete) Arbeit proportional der Geschwindigkeit ist; dieser wichtige Satz ändert sich nur wenig, wenn man die Inductions-Ströme berücksichtigt. Mit Hilfe

dieses Satzes lässt sich auch der Fall leicht behandeln, in welchem die zu leistende Zugkraft constant und nur die Geschwindigkeit variabel ist. Dies ist der Fall z. B. bei Pumpen, bei Werkzeug-Maschinen, den horizontalen elektrischen Eisenbahnen; man kann im Voraus die Aenderungen der Geschwindigkeit in den secundären Maschinen berechnen, welche von den Geschwindigkeits-Aenderungen der primären Maschinen in Folge von Widerstands-Aenderungen herrühren. Für eine horizontale elektrische Eisenbahn z. B. folgt aus unserem Satze, dass die Geschwindigkeit proportional der Entfernung der beiden Maschinen abnimmt, und diese Abnahme lässt sich leicht berechnen.«

Er bespricht dann die 3 Curven, *a* für den Strom, *b* für den Magnetismus und *c* für die Zugkraft, wobei man den Unterschied im Verhalten getriebener und treibender Maschinen berücksichtigen muss.

Dr. Frölich warnt, die von mehreren Seiten proponirte einfache Art der Berechnung des mechanischen Nutzeffectes allzu zuversichtlich anzuwenden.

Wenn auch nicht bestritten wird, dass der mechanische Nutzeffect bei der elektrischen Kraftübertragung annähernd gleich ist dem Verhältnisse der Rotations-Geschwindigkeiten oder dem Verhältnisse der elektromotorischen Kräfte, so können dabei doch, wie Dr. O. Frölich schon im Jahre 1880 gezeigt hat, sehr wesentliche Differenzen vorkommen, wodurch diese Art der Berechnung nur dann von annäherndem Werthe und anwendbar ist, wenn man die betreffenden Maschinen in ihren Constanten und Leistungen bereits genau kennt. Dr. O. Frölich giebt

übrigens eine Formel an, die es ermöglicht, aus den elektrischen Grössen, die verhältnissmässig leichter zu messen sind, den mechanischen Nutzeffect zu ermitteln:

$$\text{Die Arbeit } A = \frac{e}{E}\left[1 - \frac{p}{c\,I}\,(E - e)\right]$$

Die Bedeutungen in dieser Formel sind bekannt; $p$ ist ein Werth, der von den Foucault'schen Strömen abhängt. Will man noch die für die Reibungs-Widerstände ($R_1$ $R_2$) erforderliche Arbeit in Rechnung ziehen, so ist

$$a_1 = c\,I\,E + p\,E^2 + R_1$$
$$a_2 = c\,I\,e - p\,e^2 - R_2$$

somit der mechanische Nutzeffect:

$$A = \frac{a_2}{a_1} =$$

$$\frac{e}{E}\left[1 - \frac{1}{c\,I}\left(p\,(E + e) + \frac{R_1}{E} + \frac{R_2}{e}\right)\right]$$

Zur Erläuterung dieser Formel diene noch folgende Betrachtung:

Bei jeder Umsetzung der Arbeit von einer Form in eine andere (mechanische in elektrische und umgekehrt) erwachsen Kraftverluste, daher wird auch bei der elektrischen Kraftübertragung der mechanische Nutzeffect kleiner sein müssen, als der elektrische. Der elektrische Nutzeffect kann eventuell auf 100 Procent steigen, während man bis jetzt bei noch so exact angestellten Experimenten den mechanischen Nutzeffect nie höher, als etwa bis 60 Procent der angewendeten primären Kraft steigern konnte. Die Differenz zwischen beiden Nutzeffecten ist um so grösser, je schwächer der Strom und je grösser die Geschwindigkeit ist.

Im Aprilhefte der Elektro-technischen Zeitschrift (Jahrgang 1883) ist eine vortreffliche Ausführung des Prof. Dr. L. Schneke über das Maximum des Nutzeffectes zu finden, auf die hier ganz besonders aufmerksam gemacht wird.

Bei der elektrischen Kraftübertragung sind die elektrischen Vorgänge ohne Zweifel die Hauptsache, und Dr. O. Frölich gab in seinem schon citirten Vortrage eine Anleitung, diese Vorgänge graphisch darzustellen, eine Anleitung, die Jenen besonders willkommen sein dürfte, welche ein leichtes Ueberblicken der Verhältnisse der etwas schwierigeren Behandlung gegebener Aufgaben mittelst Rechnung vorziehen.

Im Nachstehenden sei ein Theil dieses Vortrages nach der Elektro-technischen Zeitschrift, IV. Jahrgang Heft II, im Auszuge wiedergegeben und dies umsomehr, da dieser Theil insbesondere bei Ausführung elektrischer Eisenbahnen weitgehende Beachtung verdient. Nur die zu den mathematischen Ausführungen nöthigen Bezeichnungen wurden den vom Verfasser gewählten Formen angepasst.

»Für Spannung, Strom und Widerstand ist seit Ohm gebräuchlich, die Widerstände als Abscissen und die Spannungen als Ordinaten aufzuzeichnen; die Stromstärke ist dann (an denjenigen Stellen des Stromkreises, an welchen keine elektromotorische Kraft herrscht) gleich der Tangente des Winkels $a$, welchen die Spannungslinie mit der Abscissen-Achse macht.

An jedem Punkte $M$ einer Spannungslinie $p\ p$ können wir aber leicht auch die elektrische Arbeit ($N$) construiren, welche an diesem Punkte herrscht. (Fig. 68.)

Dieselbe ist bekanntlich

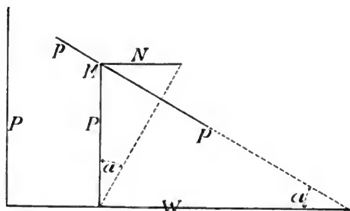
$$N = P \,.\, J,$$

wenn $P$ die Spannung in dem betreffenden Punkte, $J$ die Stromstärke; nun ist aber $J = \text{tang}\, \alpha$ und

$$N = P \text{ tang } \alpha;$$

man erhält also die Grösse $N$, wenn man vom Fusspunkte der Geraden $P$ eine Senkrechte auf die Spannungslinie $p\,p$ und von $M$ aus eine der Abscissen-Achse parallele Gerade zieht, bis sie jene Senkrechte schneidet;

Fig. 68.




das Stück dieser Geraden zwischen $M$ und der Senkrechten ist $P$ . tang $\alpha$, also gleich $N$, der elektrischen Arbeit.

Da ferner nahezu 1 Volt × 1 Ampère = 0·1 Sec.-Kg.-Mtr. ist, lässt sich leicht erreichen, dass sowohl Spannungen und Widerstände, als die Arbeitskräfte sich direct in Millimetern ablesen lassen.

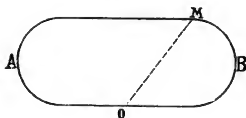
Macht man z. B. 1 Volt = 1 Mm., 1 Ohm = 10 Mm., so wird für die Arbeitskräfte nahezu 1 Sec.-Kgr.-Mtr. = 1 Mm.

Statt der elektrischen Arbeit, welche an irgend einem Punkte des Stromkreises herrscht, müssten wir eigentlich

sagen: die elektrische Arbeitskraft, welche zwischen diesem Punkte und dem Nullpunkte des Stromkreises herrscht; denn der eine Factor der Arbeit ist die Spannung, und unter Spannung versteht man ja stets nur die Differenz zwischen den Spannungen an dem betreffenden Punkte *M* und an dem Punkte niedrigster Spannung *O* (vgl. Fig. 69).

Durch die Bestimmung der beiden Punkte *M* und *O* wird der Stromkreis in zwei Theile getheilt: *M A O* und *M B O*; die (positive) Elektricität fliesst im Punkt *M* in der Richtung von *A* nach *B*, wenn die in *A* herrschenden elektromotorischen Kräfte grösser sind, als diejenigen in *B*.

Fig. 69.



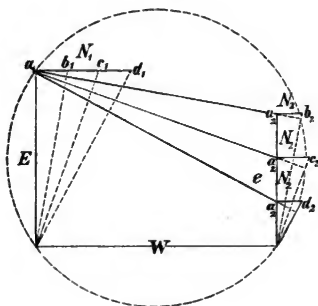

In dem ganzen Stromkreise wird eben so viel Arbeit verbraucht als geleistet, wie in jedem sogenannten Kreisprocesse; daher ist auch die zwischen *M* und *O* herrschende elektrische Arbeitskraft zugleich diejenige, welche im Zweig *A*, aus welchem der Strom kommt, in Summe verbraucht, dagegen im Zweige *B* in Summe geleistet wird. Es stehe z. B. eine elektrische Maschine in *A*, eine zweite, schwächere in *B*; die Maschine in *A* setze 10 Pferdestärken mechanische Arbeit in elektrische um und auf dem Wege bis *M* werden noch 3 Pferdestärken in Stromwärme geleistet; dann werden bis zum Punkte *M* im Ganzen 7 Pferdestärken verbraucht und eben so viel muss im Zweige *B* geleistet werden, z. B. zwei Pferdestärken in Stromwärme und 5 Pferdestärken in der Maschine *B* durch Umsetzung von elektrischer Arbeit in mechanische.

Wenn wir also an irgend einem Punkte der Spannungslinie die daselbst herrschende elektrische Arbeitskraft aufzeichnen, so erhalten wir hierdurch zugleich eine Angabe über die Summe, über die zu beiden Seiten des Punktes erfolgenden Arbeitsvorgänge.

Zeigen wir nun an einigen Beispielen, wie nützlich diese graphische Darstellung der Arbeitskraft bei der elektrischen Kraftübertragung werden kann.

1. Die elektromotorische Kraft der primären Maschine sei constant (constanter Magnetismus und constante Geschwindigkeit), der Widerstand des Stromkreises sei ebenfalls constant; es fragt sich, wie der Nutzeffect und die Arbeitskräfte bei verschiedenen Stromstärken sich verhalten

Fig. 70.




Man sieht aus der Fig. 70, dass, wenn man einen Kreis durch die drei Endpunkte der Linie $E\ W$ legt, die Schnittpunkte der verlängerten Spannungslinien und der vom Fusspunkte aus gefällten Senkrechten sämmtlich in der Peripherie dieses Kreises liegen. Es lässt sich ferner leicht nachweisen, dass die secundäre Arbeit gleich ist für zwei Punkte auf der Linie *e*, die von der Mitte $\left(\frac{E}{2}\right)$ gleich weit entfernt sind, und dass dieselbe

ein Maximum ist für $e = \frac{1}{2} E$ und zwar unabhängig von dem Widerstande des Stromkreises.

Dieser ältere Satz, der in neuerer Zeit, namentlich von Mascart wieder abgeleitet wurde, ist also hier zu unmittelbarer Anschauung gebracht und geometrisch bewiesen.

Verfolgt man die primäre Arbeit $N_1$, bei wachsendem $e$, so bemerkt man, dass dieselbe stets abnimmt.

Den (elektrischen) Nutzeffect erhält man, indem man die Linie, welche die secundäre Arbeit $N_2$ darstellt, rückwärts verlängert bis zur Linie $E$; der auf diese Weise erhaltene untere Abschnitt der Linie $E$ ist gleich $e$; da nun der elektrische Nutzeffect $= \frac{e}{E}$, so stellt das Verhältniss dieses unteren Abschnittes zur ganzen Linie $E$ den elektrischen Nutzeffect dar.

Derselbe nimmt also mit wachsendem $e$ stets zu; nimmt für $e = \frac{1}{2} E$ den Werth $\frac{1}{2}$, und endlich für $e = E$ den Werth 1 an.

Will man also bei irgend einem Leitungswiderstande mit der secundären Maschine das Maximum der Arbeit leisten, so stellt sich der Nutzeffect auf 50 Procent. Der Nutzeffect kann ferner, wenn die oben besprochenen Verluste nicht stattfinden, bis auf 100 Procent gesteigert werden, aber mit der Steigerung über 50 Procent ist zugleich eine Abnahme der geleisteten Arbeit verbunden, und bei den höchsten Werthen des Nutzeffectes (nahe an 100 Procent) haben die primäre und die secundäre Arbeitskraft nur ganz geringe Werthe.

Man sieht hieraus, dass, wenn es gelänge, Maschinen zu construiren, bei denen keine mechanischen Reibungen

und keine Ströme im Eisenkern auftreten, Nutzeffecte bis zu 100 Procent erreicht werden könnten.

Aus dem vorliegenden Beispiele ist ferner noch ersichtlich der Einfluss der Zugkraft an der secundären Maschine auf die Arbeit. Es sei z. B. eine elektrische Bahn gegeben; die Verhältnisse seien so gewählt, dass bei einem bestimmten Leitungswiderstande und bei ebener Fahrt die Maschine des bewegten Wagens 50 Procent Nutzeffect leistet; es fragt sich, wie viel Arbeit sie bei demselben Widerstande leistet, wenn der Wagen bergauf fährt, die Zugkraft also erheblich vermehrt wird.

Vermehrung der Zugkraft ist gleichbedeutend mit Vermehrung der Stromstärke, wie wir oben gesehen haben. Steigt aber die Stromstärke, so wird, wie Fig. 70 zeigt, weniger Arbeit geleistet, d. h. die Geschwindigkeit vermindert sich verhältnissmässig stärker, als die Zugkraft sich vermehrt.

## 2. Einfluss des Widerstandes der Leitung.

Es seien zwei Maschinen mit constanter elektromotorischer Kraft gegeben (constanter Magnetismus und constante Geschwindigkeit), der Widerstand des Stromkreises sei variabel.

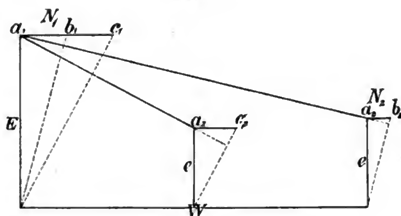
Die Fig. 71 zeigt, dass sowohl die primäre, als die secundäre Arbeitskraft abnimmt, wenn der Widerstand der Leitung wächst; der Nutzeffect jedoch bleibt derselbe, weil die elektromotorischen Kräfte gleich bleiben. Umgekehrt geht hieraus, wie aus der Fig. 70 hervor, dass derselbe Nutzeffect bei jedem beliebigen Widerstande erreicht werden kann.

Je grösser der Widerstand, desto kleiner wird auch die Stromstärke, also auch die Zugkraft an der Riemscheibe der secundären Maschine.

Ein sich stets verändernder Widerstand kommt in der Praxis fast nur bei der elektrischen Eisenbahn vor. (Fig. 72.)

Ist die Bahn eine ebene, so ist die Zugkraft an der secundären Maschine auf der ganzen Bahnlänge dieselbe, d. h. die Stromstärke ist constant. Ziehen wir nun die Spannungslinie mit dieser Stromstärke, indem wir die

Fig. 71.




primäre elektromotorische Kraft als constant voraussetzen, und construiren ferner die von der secundären Maschine geleistete Arbeit von verschiedenen Punkten der Bahn ($a_2$ $b_2$ $a_2$ $b'_2$), so ist ersichtlich, dass diese Arbeit um so kleiner ist, je grösser die Entfernung von der primären Maschine wird. Zieht man die Spannungslinie so weit, bis sie die Abscissen-Achse trifft, und nennt den Schnittpunkt den fictiven Endpunkt der Bahn, so ist klar, dass der Wagen nur so lange Arbeit leistet, bis er im fictiven Endpunkte angelangt ist. Die Arbeit ist aber das Product von Zugkraft und Geschwindigkeit, und ferner ist die Zugkraft constant, also ist die Arbeit

nur von der Geschwindigkeit abhängig und derselben proportional; es folgt also hieraus: Die Geschwindigkeit des Wagens einer elektrischen Bahn bei ebener Fahrt ist proportional der Entfernung des Wagens vom fictiven Endpunkte.

Sei nun die Bahn nicht immer eben, sondern es seien an verschiedenen Stellen Steigungen und Gefälle vorhanden, dann ist die Zugkraft nicht mehr überall constant, sondern um die der Bahn parallele Componente des Wagengewichtes grösser oder kleiner.

Wenn die Curve der Zugkraft für die secundäre Maschine bekannt ist, so lassen sich mittelst derselben die den Steigungen und Gefällen entsprechenden Stromstärken direct ermitteln. Durch die Stromstärke ist aber stets die Neigung der Spannungslinie gegeben; wir können also für jeden Punkt der Bahn die betreffende Spannungslinie aufzeichnen und die geleistete Arbeit construiren; durch Division der Arbeit durch die Zugkraft erhält man dann die Geschwindigkeit. Auf diese Weise lassen sich Karten entwerfen, in welchen an jedem Punkte der Bahn Arbeit und Geschwindigkeit angegeben sind.

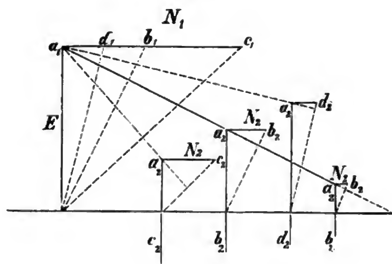
In Fig. 72 bedeutet $a_2\, c_2$ die Arbeit bei einer Steigung, $a_2\, d_2$ diejenige bei einem Gefälle; die Arbeitskräfte sind ausserdem an den betreffenden Punkten an der Abscissen-Achse nach unten aufgetragen.

Werfen wir einen Rückblick auf die behandelten Beispiele, so können wir nun die Anfangs gestellte Frage beantworten, ob Aussicht vorhanden sei, mit den Maschinen der jetzigen Technik die hohen Nutzeffecte zu erzielen, welche theoretisch möglich sind.

Denken wir uns irgend zwei zu einander passende Maschinen in Kraftübertragung geschaltet, und zwar beide bei den für dauernden Betrieb berechneten Maximis von Stromstärke und Geschwindigkeit. (Wie wir früher gezeigt haben, muss die primäre Maschine dann ungefähr doppelt so gross sein, wie die secundäre.)

Diese Uebertragung ergiebt in Wirklichkeit einen mechanischen Nutzeffect von ungefähr 50 Procent. Werden nun an beiden Maschinen die mechanischen

Fig. 72.




Reibungen und die Ströme im Eisenkern auf ein Minimum reducirt, so wird der Nutzeffect allerhöchstens auf 60 Procent steigen. Soll der Nutzeffect noch weiter gesteigert werden, so bleibt nur ein Mittel übrig: die Erhöhung der Geschwindigkeit; denn die Anwendung von dünnerer Wickelung würde, wie wir gesehen haben, den Nutzeffect, bei Abwesenheit jedes Leitungswiderstandes, nicht verändern.

Bei den hier vorausgesetzten Maschinen nun lässt sich die Geschwindigkeit nicht erhöhen; es müssen also grössere Maschinen genommen werden, welche dieselben

elektromotorischen Kräfte und Stromstärken, wie die obigen Maschinen, bei viel geringeren Geschwindigkeiten liefern. Die Arbeitsgrössen und der elektrische Nutzeffect müssen alsdann dieselben sein, wie oben, aber die Geschwindigkeiten lassen sich erhöhen und damit nicht nur die Arbeitskräfte, sondern auch der Nutzeffect.

Zur Erzielung hoher Nutzeffecte gehört also theils die Beseitigung der bewussten Arbeitsverluste, theils die Anwendung von verhältnissmässig schwachen Strömen und hohen Geschwindigkeiten.

Handelt es sich dagegen darum, mit gegebenen Maschinen möglichst viel secundäre Arbeit zu leisten, so müssen sowohl die Geschwindigkeiten als der Strom möglichst gross gewählt werden.«

So weit Dr. O. Frölich.

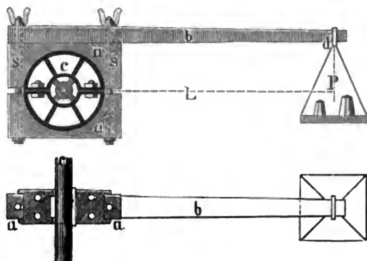
Es wären hier noch die Ermittelung und Messung der verschiedenen Kräfte zu besprechen. Der an Maschinen erzielte Effect wird bekanntlich als ein Product der Rotations-Geschwindigkeit in die per Umdrehung auftretende Kraft dargestellt. Die Winkel-Geschwindigkeit einer Maschine kann mittelst eines in verschiedenen Constructionen existirenden Tourenzählers gemessen werden. Die Kraft misst man mit dem Brems-Dynamometer.

Der Prony'sche Zaum (ein Brems-Dynamometer) dient dazu, den Nutzeffect eines Wasserrades, einer Dampfmaschine, eines elektrischen Receptors etc. zu ermitteln, oder aber den Effect zu messen, welchen Arbeitsmaschinen, Transmissionen etc. absorbiren.

Fig. 73 *a* zeigt die bezügliche Anordnung. Auf der Welle wird eine Rolle *c* fest aufgesetzt und dieselbe mit zwei halbkreisförmig ausgeschnittenen Bremsklötzen *a a*

eingeschlossen. Der eine Bremsklotz trägt den Hebel *b*, an dessen Ende die Wagschale zur Aufnahme von Gewichten angebracht ist. Wenn die beiden Bremsklötze vermittelst Schraubenbolzen *s s* fest an die Rolle angedrückt werden und der Hebel nicht beschwert ist, so wird die Achse den Hebel im Kreise herumführen. Wird dagegen der Hebel während der Drehung der Welle dadurch in seiner Lage erhalten, dass man ihn mit genügen-

Fig. 73*a*.




den Gewichten beschwert, so muss die Rolle zwischen den Bremsklötzen gleiten, und es wird dann die Arbeit des Motors durch die Reibung der Bremse absorbirt. Nun hat aber das Gewicht der Bremse Einfluss auf die Drehung, wenn die Welle horizontal liegt. Dieses Gewicht, im Schwerpunkte der Vorrichtung gedacht, reducire man nach dem Aufhängepunkt *d* der Last.

Es sei nun:

*P* dasjenige auf der Wagschale liegende Gewicht, vermehrt um das der Wagschale und des reducirten Gewichtes der Vorrichtung;

$L$ der horizontale Abstand des Aufhängepunktes von der Mitte der Welle;

$n$ die Anzahl der Umdrehungen der Welle per Minute;

$r$ der Halbmesser der Rolle;

$R$ die Reibung zwischen Rolle und Bremsklötzen.

Da sich $R$ und $P$ das Gleichgewicht halten, so sind die statischen Momente dieser Kräfte gleich, also $R r = P L$. Multiplicirt man auf beiden Seiten mit $2 \pi$, so wird

Fig. 73*b*.

$$R\, 2\, r\, \pi = P\, 2\, L\, \pi$$

die Arbeit sein, welche die Reibung $R$ längs des Weges $2 r \pi$, d. h. bei einer Umdrehung absorbirt. Multiplicirt man $2 L \pi P$ mit $n$, so erhält man die Arbeit in der Minute; wird dieses Resultat mit 60 dividirt, so hat man die Angabe der Arbeit in der Secunde. Ist $L$ in Metern, $P$ in Kilogramm ausgedrückt und dividirt man mit 75, so ist der von der Reibung absorbirte Effect per Secunde

$$= \frac{\pi L}{75 \cdot 30} P n$$

Pferdekräfte.

Wenn bei Versuchen die Länge $L$ denselben Werth behält, so ist $\frac{\pi L}{75 . 30}$ constant; man wird diesen Werth daher ein- für allemal berechnen und immer nur mit $n$ und $P$ multipliciren.

Ein sehr brauchbares Dynamometer hat Hefner von Alteneck construirt, und soll dasselbe hier kurz beschrieben und in Fig. 73*b* schematisch dargestellt werden. Der abgebildete Apparat lässt aus der Differenz der Spannungen der beiden Riementheile die wirkende Kraft erkennen.

*a b*, *c d* sind die zu einander gegenüberliegenden Riementheile. Die Rollen 1, 2, 3, 4, haben den Zweck, die beiden Riementheile einander zu nähern, die Rolle 5 dieselben auseinanderzuhalten und die Rollen 6 und 7 die Gleichheit der Winkel beiderseits zwischen den Trums zu erhalten. Das Gewicht der Rolle 5 wird durch das auf den Hebel *h* aufgesetzte Gewicht *p* aequilibrirt. Der Hebel *h* ist — wie ersichtlich — mit den Rahmen *r*, der im Mittelpunkt der Rolle 6 gestützt ist, verbunden. Sobald sich der an *h* angebrachte Zeiger auf einem bestimmten Punkte der Scala *m* einstellt, steht der Apparat derart, dass die Kraft, welche die Rolle 5 aus ihrer mittleren Stellung zu drängen sucht, der Spannungs-Differenz der beiden Riemenhälften direct proportional ist. Diese Spannungs-Differenz wird durch die Spannung der Feder *g* angezeigt, und kann dann von der Scala *S* abgelesen werden, wenn man mittelst der Mikrometer-Schraube *v* die Feder *g* so lange regulirt, bis die Spitze von *h* den richtigen Punkt an *m* zeigt.

Die Feder *g* wird in ihrer Aufgabe durch das Gewicht *L* unterstützt.

Hat man nun die Tourenzahl ermittelt und mit dem Dynamometer die Spannungs-Differenz gemessen, wobei man eine directe Angabe von $S$ in Kilogramm erhält, so braucht man diese nur mit der in Metern ausgedrückten Winkel-Geschwindigkeit zu multipliciren, und man hat die Arbeit in Meter-Kilogramm ausgedrückt.

Es erübrigt noch auszuführen, dass bei der elektrischen Kraftübertragung statt des Generators auch Secundär-Batterien (Accumulatoren) verwendet werden können, wodurch der Betrieb eventuell sehr vereinfacht wird, da bei dieser Anordnung die Führung der Leitungen entfallen kann. So lange die Accumulatoren nur in bedeutenden Gewichts-Dimensionen ausgeführt werden konnten, missglückten alle Versuche, dieselben zur Fortbewegung von Fahrzeugen auszunützen, und zwar deswegen, weil diese Accumulatoren gerade so viel motorische Kraft aufnehmen konnten, um ihr eigenes Gewicht und einen ganz kleinen Gewichtsüberschuss fortzuführen. Heutzutage, wo man Accumulatoren grösserer Leistungsfähigkeit zu 26 Kilo (System Kabath) und zu 8 Kilo (System E. Reynier), ausführt, tritt die Frage der Verwendung derselben zum Betriebe elektrischer Eisenbahnen neuerdings auf die Tagesordnung, und scheint jetzt eine günstige Lösung derselben möglich.

Auf eine nähere Beschreibung der Secundär-Elemente, deren Function und Behandlung kann hier wegen des beschränkten Raumes nicht eingegangen werden und wird auf die ausführlichen Erörterungen dieses Gegenstandes im IV. Bande dieser Bibliothek (Hauck, »Die galvanischen Batterien«) S. 239—295 verwiesen.

Hier sei über diesen Gegenstand nur ein Auszug aus meinem Vortrage, den ich noch unter dem unmittelbaren Eindrucke der Pariser Elektricitäts-Ausstellung (1881) in Wien gehalten habe, reproducirt, um dann daraus die zweckdienlichen Schlüsse ziehen zu können.

»Was sind secundäre Elemente?«

Ich habe bei meinem letzten Vortrage an dieser Stelle »Ueber eine neue Theorie des galvanischen Elementes«*) gesagt: »Man erhält einen sogenannten Polarisations-Strom durch die Wiedervereinigung der durch einen elektrischen Strom ausgeschiedenen Jonen. Wenn man also in einem Voltameter die eine Elektrode mit Sauerstoff, die andere mit Wasserstoff beladet, so wird durch die Verbindung der beiden Elektroden ausserhalb der Flüssigkeit, ein elektrischer Strom, ein sogenannter secundärer oder Polarisations-Strom entstehen.

Zuerst hat Sinsteden, u. zw. schon im Jahre 1854 Bleiplatten in verdünnter Schwefelsäure zu secundären Elementen benützt; auch Poggendorf und J. Thomson haben Polarisations-Batterien construirt. Bei den Grove-schen Gasbatterien ist ebenfalls die Polarisation von Elektroden die Ursache der Strom-Erregung; aber erst Planté hat (1859) ein brauchbares secundäres Element construirt, das berufen scheint, in dem Kampfe der elektrodynamischen Maschinen mit den Hydro-Elektromotoren möglicherweise eine bedeutende Rolle zu spielen.

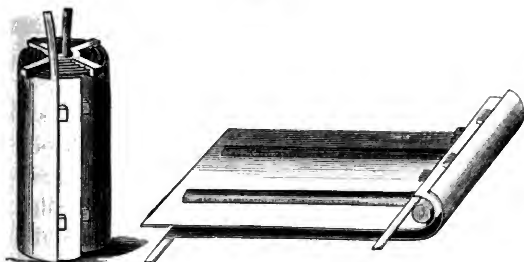
Wie ist denn nun ein Planté-Element gebaut?

Zwei Bleiplatten, die durch Gummistreifen vollkommen von einander isolirt und in gleichen Abständen

*) Siehe »Oesterr. Eisenbahn-Zeitung« Nr. 24, S. 344, von 1881.

von einander gehalten sind (siehe Fig. 74), werden spiralförmig zusammengerollt und in ein Gefäss, das mit angesäuertem Wasser gefüllt ist, nach Art der Smee-Elemente, eingetaucht. Zur Füllung nimmt man $H_2O$ und $H_2SO_4$ im Verhältnisse von 16 : 1. An jeder Platte ist ein Metallstreifen angelöthet, die dann die beiden Pole des Elementes bilden. An diese Pole knüpft man die Leitungsdrähte einer Batterie, und genügen zur Ladung

Fig. 74.



eines Planté-Elementes zwei Bunsen-Elemente, um durch den Strom des Planté-Elementes einen Platindraht bis zum Rothglühen zu bringen.

Im Planté-Element erhält die eine Bleiplatte während der Ladung dadurch, dass sie sich mit Blei-Superoxyd bedeckt, einen braunen Ueberzug, während die andere Bleiplatte eine silbergraue körnige Oberfläche zeigt. Sobald sich an der braunen Elektrode Sauerstoffbläschen zeigen, ist das Maximum der Ladung erreicht, und eine weitere Einwirkung des primären Stromes auf das Planté-Element kann die Ladung des letzteren nur schädigen. Wie leicht begreiflich, steht die Quantität der Elek-

tricität, welche ein Planté-Element liefern kann, im geraden Verhältnisse zur Flächenausdehnung der Bleiplatten.

Wer einen Motor und eine Dynamo-Maschine zur Verfügung hat, dem wird es leicht werden, auf diese Art mittelst Accumulatoren Kraftquellen, Kraftreservoire, anzufertigen, die man zu beliebiger Zeit und ohne an den Ort gebunden zu sein, ausnützen kann.«

Es haben sich seit jener Zeit, wo dieser Vortrag gehalten wurde, keine wesentlich neuen Gesichtspunkte ergeben, wenn auch unsere Kenntnisse über die Leistungsfähigkeit der Accumulatoren durch exact angestellte Experimente und Berechnungen erweitert worden sind.

Zur Ladung der Accumulatoren eignen sich alle Elektricitätsquellen, die constanten Strom liefern und eine lebhafte Wasserzersetzung einleiten, also auch passend construirte Dynamo-Maschinen, obwohl sich speciell zu diesem Zwecke magneto-elektrische Maschinen mehr empfehlen, weil bei Dynamo-Maschinen leicht der Fall eintreten kann, dass der Strom aus den geladenen Accumulatoren stark genug wird, den Ladungsstrom zu neutralisiren, ja sogar die Richtung dieses Stromes zu ändern, was dann natürlich eine Entladung der Accumulatoren, also ein Vergeuden der Arbeit, zur Folge hat.

Man wird diesem Uebelstande bei Verwendung von Dynamo-Maschinen dadurch entgehen, dass man die inducirenden Elektromagnete derselben durch eine zweite kleinere Dynamo erregt; eine Anordnung, die sich überhaupt überall empfiehlt, wo man einen constanten unveränderlichen Strom braucht. Bei der Ladung muss man natürlich darauf achten, dass der wesentliche

Widerstand im besten Verhältnisse zum äusseren Widerstande steht ($^3/_7$ : 1) und dass die Kraft des elektrischen Stromes aus den Accumulatoren nie so stark werden kann, als jene des zur Ladung verwendeten Stromes.

Anordnungen zur Ladung von Accumulatoren durch Dynamo-Maschinen sind aus den Fig. 75—77 ersichtlich.

In solchen Fällen wird sich die nöthige Dauer der Ladung leicht berechnen lassen, wenn man die aufzuwendende Arbeit dem Maximum der Ladungsfähigkeit, die ja für jeden Accumulator bekannt sein muss, entgegenstellt.

Wenn die Ladung beendet ist, so isolire man vorerst die Accumulatoren, bevor die Maschine abgestellt wird.

Es ist allgemein bekannt, dass zur Erzeugung eines gleichmässigen elektrischen Lichtes eine constante Stromstärke nöthig ist, und dass diese beim Maschinenbetrieb nur durch eine möglichst gleichmässige Rotation der Armatur in der Dynamo erzielt werden kann. Es ist aber eine vielseitig auftauchende, total irrige Ansicht, dass man zur Ladung von Accumulatoren — zur Aufspeicherung der Elektricität, wie man sich in diesem Falle gerne ausdrückt — einer gleichmässigen Stromstärke nicht bedarf und daher zum Betriebe der zur Ladung dienenden Maschinen Motoren verwenden kann, die eine minder constante Tourenzahl an der Armatur ergeben. Für die ersten Ladungs-Stadien mag dies einige Begründung haben; sobald aber die Ladung so weit vorgeschritten ist, dass der Strom aus den Accumulatoren eine Stärke erreicht, die höher ist, als jene niederste Grenze, innerhalb welcher der Ladungsstrom variirt,

Fig. 75.

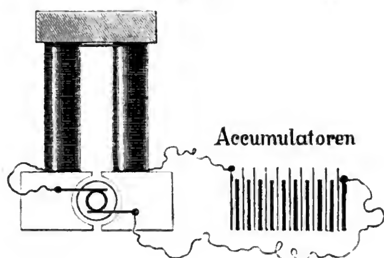



Fig. 76.

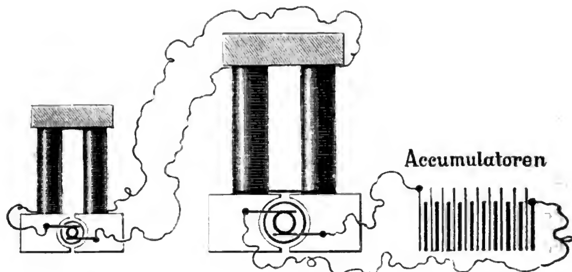
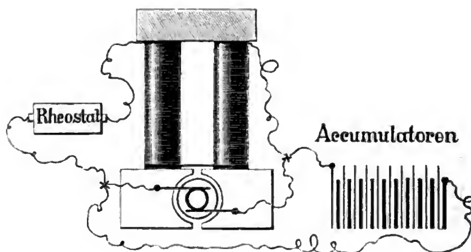



Fig. 77.



kann eine vollständige Ladung nur mit vielen unnützen Kraftverlusten erfolgen, und wenn diese Kräfte vielleicht auch keine Kosten verursachen sollten, so hat man doch den einen Uebelstand zu berücksichtigen, dass die Ladung unter solchen Umständen eine ausserordentlich lange Zeit in Anspruch nimmt. Dynamo-Maschinen und Accumulatoren werden übrigens durch solche Vorgänge auch nicht besser. Es ist dies insbesondere beim Betriebe von Dynamo-Maschinen durch Wassermotoren und durch die neuerer Zeit vielfach proponirte Ausnützung der lebendigen Kraft rollender Fahrzeuge zur Ladung von Accumulatoren zu berücksichtigen. Man hat zwar auch schon diesen Uebelständen durch Anwendung elektromagnetischer, automatisch wirkender Ausschalte-Vorrichtungen*) theilweise abgeholfen; immerhin aber wird es auf diesem Gebiete noch viel zu verbessern geben.

Da wir es beim Betriebe der Accumulatoren mit einer Umwandlung von Kräften, bei welcher Kraftverluste nicht zu umgehen sind, zu thun haben, so wird die Berechnung dieser Verluste, beziehungsweise die Ermittlung des Verhältnisses der aufgewendeten zurückgewonnenen Arbeit bei praktischer Verwendung von Accumulatoren sehr wichtig sein.

Wir verdanken einer französischen Commission, bestehend aus den Herren Allard, Blanc, Joubert, Potier und Treska, die Kenntniss dieser Verhältnisse aus einem speciellen Versuche, der mit 32 Faure-Elementen im »Conservatoire des arts et métiers« angestellt wurde. Die auf dieses Experiment bezughabende Denkschrift

*) Siehe Elektro-techn. Bibl., Bd. IV. Hauck, »Die galvanischen Batterien«, S. 281.

wurde am 10. März 1882 der französischen Akademie der Wissenschaften überreicht. Aus derselben sei hier kurz Folgendes recapitulirt:

Jedes Element wog 43·7 Kgr. Auf einen Quadrat-Meter Blei entfiel 1 Kgr. Minium; die Flüssigkeit enthielt 10% $H_2 SO_4$.

Die zur Ladung verwendete Siemens-Dynamo-Maschine hatte in der Armatur einen Widerstand von 0·27 Ohm, in den Elektromagneten 19·45 Ohm und wurde der Ladungsstrom auf 2—5 Ampère gehalten.

Die Tabellen I und II zeigen einen Theil der gefundenen Resultate, die im Vereine mit den Vorstehenden ein klares Bild über die verwendeten und rückgewonnenen Kräfte bieten.

Man sieht nun daraus, dass von den zur Ladung verwendeten 694.500 Coulomb bei der Entladung 10·8% verloren gingen, da der secundäre Strom nur 619.600 Coulomb hatte. Zur Ladung wurden $9_{,570}$ Millionen Kgr.-Mtr. mechanische Arbeit geleistet; $3_{,809}$ Millionen Kgr.-Mtr. wurden zurückgewonnen, was einem Verluste von 60% entspricht. Nachdem bei der Ladung schon $3_{,188}$ Millionen Kgr.-Mtr. verloren gingen, so wurde von der aufgespeicherten Kraft per $6_{,382}$ Millionen Kgr.-Mtr. 60% Nutzarbeit in 10 Stunden 39 Min. geleistet.

Die 32 Elemente à 43·7 Kgr. wogen 1398·4 Kgr. Da nun: $\frac{3{\cdot}80900}{1398} = 2725$ Kgr.-Mtr. auf ein Kilogramm-Gewicht kommen, so entfällt auf 1 Kgr. per Secunde $\frac{2725}{38340} = 0{\cdot}071$ Kgr., und werden wir diese Ziffern zur Grundlage für spätere Berechnungen brauchen.

Das Laden der Accumulatoren.

| Tag und Dauer der Versuche | Rotationen in der Minute | Mechanische Arbeit in Kilogr.-M. | Mittlere Potential-Differenz in Volt | Mittlere Intensität des Ladungs-Stromes in Ampère | Mittlere Intensität des Eregungs-Stromes in Ampère | Menge der von der Batterie aufgenommenen Elektricität in Coulomb | Elektrische Arbeit bei der Ladung (in Kilogramm-Metern) | Elektrische Arbeit bei der Erregung (in Kilogramm-Metern) | Elektrische Arbeit im Anker (in Kilogramm-Metern) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4. Jänner 1882, 5 St. 30 m. | 1079 | 2,414.907 | 82·81 | 10·93 | 2.46 | 216.400 | 1,814.600 | 408.400 | 94.400 |
| 5. » » 7 » — » | 1072 | 2,772.292 | 91·08 | 7·97 | 2·81 | 200.800 | 1,947.100 | 676.300 | 79.100 |
| 6. » » 7 » 30 » | 1083 | 3,246.871 | 92·91 | 7·94 | 2·83 | 214.300 | 2,028.800 | 596.100 | 76.800 |
| 7. » » 2 » 45 » | 1085 | 1,135.728 | 92·06 | 6·36 | 2·18 | 63.000 | 591.600 | 202.800 | 19.500 |
| | | 9,569.798 | | | | 694.500 | 6,382.100 | | |

Das Entladen der Accumulatoren.

| Tag und Dauer des Versuches | Mittlere Kraft der Batterien in Volts | Mittlere Stärke des Stromes in Ampère | Menge der Elektricität in Coulomb | Geleistete elektrische Arbeit in Kilogr.-M. |
|---|---|---|---|---|
| 7. Jänner 1882, 7 St. 19 m. | 61·39 | 16·128 | 424.800 | 2,608.000 |
| 9. » » 3 » 20 » | 61·68 | 16·235 | 194.800 | 1,201.000 |
| 10 St. 39 m. | | | 619.600 | 3,809.000 |

Diese officiellen Daten klingen zwar nicht besonders tröstlich; die Verbesserung der Accumulatoren macht aber enorme Fortschritte, und kann eine Verringerung der Kraftverluste bei den verschiedenen Transmissionen in sichere Aussicht gestellt werden. Es wird übrigens schon das obige Resultat als ein Fortschritt bezeichnet werden können, welcher bereits verschiedenen Industrien dient und der in vielen Fällen zu neuer Verwendung von Elektricität ansporn.

Will man Secundär-Elemente zur Kraftübertragung benützen, so hat man dabei den grossen Vortheil, dass man keiner Leitungen bedarf, denn man concentrirt eine gewisse Menge Elektricität an Orten, wo solche Kraft zur Verfügung steht, transportirt dann die geladenen Accumulatoren nach jenem Orte, wo man Kraft benöthigt, und kann sie hier beliebig ausnützen.

Ueber die Art dieser Ausnützung sei Folgendes bemerkt: Es wurde schon hervorgehoben, dass alle in diesem Abschnitte über die Kraftübertragung ausgeführten Gesetze auch dann Giltigkeit haben, wenn statt der Dynamo-Maschine geladene Accumulatoren als Generator verwendet werden. Hat man eine Dynamo-Maschine, deren elektromotorische Kraft in den verschiedenen Rotationsphasen bekannt ist, so kann man dieselbe als einen elektrischen Motor benützen, wenn man in dieselbe den Strom aus Accumulatoren leitet, und wird man auch dabei den besten Nutzeffect dann erzielen, wenn die elektromotorische Kraft der Accumulatoren doppelt so gross ist, als die bei dieser Anordnung in der Dynamo-Maschine auftretende elektromotorische Gegenkraft. Der

äussere Widerstand wird bei solchen Anordnungen so klein gemacht werden, dass man denselben bei allen Rechnungen vernachlässigen kann.

---

# VII.

# Die Gesammtanordnung einer elektrischen Eisenbahn.

Uebersicht der Zusammenstellung. — Situation des Generators. — Schaltungs-Schemata für eingeleisige, für zweigeleisige Bahnen. — Widerstände beim Rollen der Fahrzeuge. — Ermittlung der nöthigen Kraft, — der Geschwindigkeit, — der mechanischen Leistung — und des Seitendruckes der Räder. — Die zulässige Geschwindigkeit in Curven. — Signalanlagen. — Bahnbetrieb mittelst Accumulatoren. — Der elektrische Bahnbetrieb. — Entwurf einer Fahrordnung.

Wird ein Receptor (eine elektro-dynamische Maschine) auf ein Eisenbahn-Fahrzeug gestellt, demselben mittelst einer Leitung und eventuell eines darüber rollenden Contactwagens die elektrische Kraft eines Generators (ebenfalls eine Dynamo-Maschine) zugeführt, diese Kraft dann zur Fortbewegung des Fahrzeuges ausgenützt, so ist das Princip der elektrischen Eisenbahn dargestellt.

Beim Accumulator-Bahnbetriebe entfällt die Leitung, denn dabei wird die elektrische Kraft des Generators in den Accumulatoren angesammelt, diese ebenfalls auf das Fahrzeug zum Receptor gebracht und die angesammelte Kraft wird durch diesen die Fortbewegung des Fahrzeuges bewirken müssen.

Zum elektrischen Bahnbetriebe braucht man also:

1. einen vollständigen Eisenbahnkörper (Ober- und Unterbau),

2. einen Dampfmotor zum Betriebe der

3. Generatoren;

4. Wagen, auf denen die Receptoren aufmontirt sind, und

5. entweder Elektricitäts-Leitungen oder Accumulatoren.

Wollen wir vorerst den Bahnbetrieb mit Leitungen betrachten und annehmen, dass eine 4 Km. lange elektrische Bahn zu betreiben wäre. Es wird vor Allem die ermittelte Bahntrace gebaut, dann der Dampfmotor aufgestellt — von der Ausnützung disponibler Naturkräfte wollen wir vorläufig absehen, bis diese Frage in ein günstigeres Stadium getreten ist — neben dem Dampfmotor werden die zu Generatoren bestimmten Elektro-Dynamo-Maschinen aufmontirt und durch Transmissionen mit jenem verbunden, endlich wird neben und parallel der Bahntrace eine Leitung geführt, welche es ermöglicht, von jedem Punkte derselben den im Generator durch den Antrieb des Dampfmotors erzeugten elektrischen Strom zum Receptor zu leiten; der letztere ist auf einem Wagen aufmontirt. Die durch den elektrischen Strom bewirkte Rotation der Armatur des Receptors wird auf die Wagenachsen übertragen, u. zw. mit einer Kraftäusserung, die nach dem im Abschnitte VI über die elektrische Kraftübertragung Gesagten von dem Verhältnisse der wirkenden elektromotorischen Kraft zu deren Gegenkraft abhängt.

Ueber die Herstellung des Bahnkörpers wurde schon im I., II. und III. Abschnitte dieses Buches gesprochen; die Details über die Leitungen sind im IX. Abschnitte zu finden, während der X. Abschnitt über die Wagen, der VIII. Abschnitt über passende Dampfmotoren handelt. Es erübrigt nach Obigem also nur über die Situation des Generators und die Strom-Schemata zu sprechen.

Kann man bei einer 4 Km. langen Strecke den Dampfmotor in der Mitte der Linie situiren, so ist die günstigste Möglichkeit gegeben und man wird von hier aus die Elektricität nach jeder Seite hin je 2 Km. weit leiten.

Es sind dann nachstehend angeführte Schaltungs-Schemata für eingeleisige Bahnen empfehlenswerth: Fig. 78, 79, 80.

Da die Leitungen bedeutende Kosten verursachen, so hat man zu trachten, die Elektricität auf dem möglichst kürzesten Wege nach ihrem Bestimmungsorte zu bringen und bei dieser Leitung günstige Nebenumstände so auszunützen, wie dies in Fig. 80 ersichtlich gemacht wurde. Die in die Zeichnungen für die einzelnen Fälle mit aufgenommenen Geleiseanlagen zeigen gleichzeitig, wie die Bahn mit den verschiedenen Schaltungen leistungsfähiger wird.

Für zweigeleisige Bahnen nimmt man die Schaltungen derart, als wenn man zwei eingeleisige Bahnen einzurichten hat. Fig. 81 zeigt das bezügliche Schema.

Die Anlage zweigeleisiger Bahnen für elektrischen Betrieb wird sich aber so lange nicht rentiren, als die Frage des gleichzeitigen Betriebes zweier getrennt von einander laufender Fahrzeuge in einer und derselben Schaltungs-Section nicht einer befriedigenden Lösung zugeführt ist.

Betrachten wir nun die einzelnen Fälle: I., Fig. 78. Der Wagen steht in *A* und soll nach *B* laufen. Bei dieser Bewegung wird er sich vorerst der Elektricitätsquelle (dem Generator) nähern, der äussere Widerstand wird allmählich verringert; beim Laufe vom Generator nach *B* wird der äussere Widerstand mit der fortschreitenden

Fig. 78.

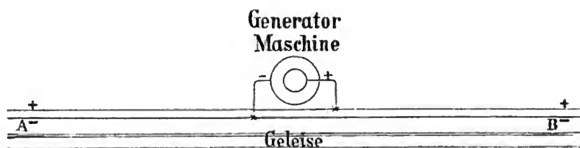
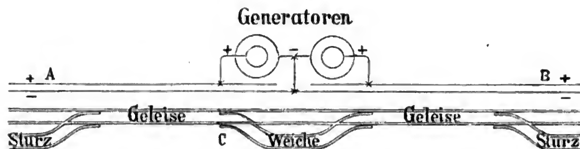



Fig. 79.




Bewegung vermehrt. Es giebt dabei nur einen Generator und einen Schliessungsbogen, der sowohl durch die Laufschienen als durch eine eigene Luftleitung hergestellt sein kann. So lange die Schaltungs-Section *A-B* von einem Fahrzeuge befahren wird, kann kein anderer Zug in dieser Section verkehren.

II. Fall, Fig. 79. Hier sind für dieselbe Streckenlänge 2 Generatoren und 2 Schaltungs-Sectionen bestimmt, daher können in diesem Falle auch 2 Wagen gleichzeitig und getrennt, u. zw. sowohl hinter einander, so lange

sie nicht gleichzeitig in einer und derselben Schaltungs-Section fahren, als auch gegen einander in Bewegung gesetzt werden, wobei sie dann in der Ausweiche bei *C* mit einander kreuzen und bei fortzusetzender Bewegung die Schaltungs-Sectionen vertauschen müssen. In diesem Falle müssen aber auch, wenn in solchen Strecken gleich-

Fig. 80.

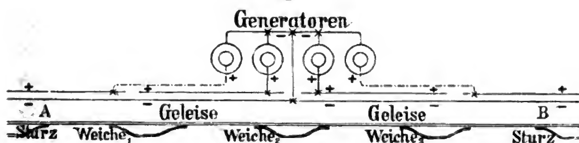
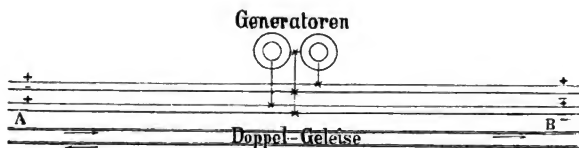



Fig. 81.




zeitig mehr als 2 Wagen zur Verkehrs-Bewältigung verwendet werden, an den Endpunkten Ausweichen aufgestellt sein; doch genügen hierzu einfache Sturzgeleise, wie dies in der Zeichnung ohnehin angedeutet wurde.

III. Fall, Fig. 80. Hierbei ist bei gleicher Streckenlänge alle 1000 Mtr. eine Ausweiche angelegt, und da bei jeder solchen das Ende der einen und der Anfang der anderen Schaltungs-Section gelegen sein muss, so erhält man bei dieser Anordnung 4 derartige Sectionen und benöthigt zu deren Betrieb selbstverständlich auch 4 Generatoren.

Bei dieser Eintheilung können in der Strecke von 4 Kilometer gleichzeitig 4 Wagen nach beliebigen Richtungen rollen. Die Leitungsführung zum negativen Pol geschieht hierbei durch den einen Schienen- oder Leitungsstrang, während die Führungen zu den positiven Polen für jede Schaltungs-Section separat hergestellt sein müssen. Man sieht, dass diese Anordnung schon genügt, einen ganz bedeutenden Verkehr zu bewältigen; sie kann übrigens auf dieselbe Art auch noch weiter ausgeführt werden, ohne dass sich die Manipulation wesentlich complicirt, denn bei den Weichen wird man zu deren Bedienung ohnehin eigene Wärter aufstellen müssen, und können dieselben dann eventuell auch das Transferiren der Contactwagen auf den Leitungen besorgen. Diesbezüglich kann Folgendes als Norm empfohlen werden: Es sei Grundsatz, dass die Wagen einer Richtung, z. B. von *A* nach *B*, immer auf der Geraden fahren, während die in umgekehrter Richtung, also von *B* nach *A*, an den Kreuzungspunkten auf die Ausweiche fahren müssen. Bei diesen Ausweichen bleiben dann die Contactwagen der Fahrzeuge in gerader Richtung auf der Leitung, die Contactwagen der anderen Richtung werden an den Kreuzungsstellen von der Leitung herabgenommen und nach dem Passiren des Wagens der anderen Richtung wieder in die Leitung eingehängt. Dort, wo die Laufschienen zur Elektricitäts-Leitung verwendet werden, entfällt natürlich diese, wenn auch einfache, so doch immerhin aufhaltende Manipulation. Auch bei Röhrenleitungen, wie sie Siemens theilweise anwendet, wird bezüglich des Ueberganges der Contactwagen von einer Leitungs-Section in die andere ein anderes Arrangement zu treffen sein.

Bei Doppelbahnen sind diese Verhältnisse einfacher; hier ergeben sich aber wieder insoferne Schwierigkeiten, als bei derartigen Anlagen auf einen bedeutenden Verkehr reflectirt werden muss und dem Hintereinanderfahren der Wagen Grenzen gezogen sind, die durch die Schwierigkeit, zwei Wagen in einer Schaltungs-Section rollen zu lassen, bestimmt werden. Die Fig. 81 zeigt das Schaltungs-Schema, wenn in der 4 Kilometer langen Doppelleitung auf jedem Geleise nur ein einziger Wagen verkehren soll; sollen innerhalb dieser Strecke mehr Wagen, auf jedem Geleise gleichzeitig rollen, so empfehlen sich ähnliche Anordnungen, wie sie in den Fig. 79 und 80 angedeutet sind.

Kann der Dampfmotor, beziehungsweise Generator, nicht in der Mitte der Strecke, die mit elektrischem Strom zu versorgen ist, aufgestellt werden, so compliciren sich die Verhältnisse ganz wesentlich, und muss dann den Verhältnissen zwischen äusserem und innerem Widerstand ganz besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Es wurde schon bei der Abhandlung über die elektrische Kraftübertragung hervorgehoben, wie wichtig hierbei ein constantes Verhältniss zwischen den verschiedenen Widerständen ist, und da bei elektrischen Bahnen naturgemäss dieses Verhältniss ein fortwährend variables sein muss, so wird man wohl zu dem nichts weniger als beliebten Mittel der künstlichen Widerstände, zum Ausgleiche greifen müssen. Nachdem übrigens zur Regulirung der Geschwindigkeit am Wagen ohnehin künstliche Widerstände gebraucht werden, so lässt sich die Erfüllung des doppelten Zweckes der vorhandenen Rheostaten wohl leicht ausführen.

Alle diesfalls möglichen Fälle zu erörtern, würde den Rahmen dieses Buches weit überschreiten, die vorstehenden allgemeinen Andeutungen dürften im Zusammenhange mit den allgemeinen Sätzen über elektrische Kraftübertragung genügen.

Bezüglich der Kraftermittlung zur Ingangsetzung der Wagen dienen folgende Erwägungen und daraus resultirende Formeln:

Zur Fortbewegung der Fahrzeuge ist ein Kraftaufwand nöthig, der die Achsenreibung, die rollende Reibung, den Luftwiderstand und jene Hindernisse überwindet, die durch Unregelmässigkeiten im Oberbau veranlasst werden. Diese Widerstände sind unter verschiedenen Niveau-Verhältnissen verschieden. Nun giebt es aber

*a*) horizontale Strecken,
*b*) Steigungen und
*c*) Gefälle.

In den Fällen *a b* wird Kraft verbraucht, bei Gefällen läuft der Wagen in Folge des Eigengewichtes ohne effectiven Kraftverbrauch und muss eventuell sogar gebremst werden.

Je geringer alle zu überwindenden Widerstände sind, je vortheilhafter die Wagen gebaut und je besser die Achslager geschmiert sind, desto geringer ist auch der Kraftverbrauch. Bei mässigem Gefälle werden gut gebaute Wagen bei geringer Anregung in Bewegung gesetzt und in Folge des Beharrungsvermögens in gleichmässiger, ja sogar in gleichmässig beschleunigter Bewegung verbleiben, ohne dass also Kraftverbrauch nöthig ist; der Widerstand der Wagen gegen die fortschreitende Bewegung ist dann $^1/_{300}$, $^1/_{350}$ bis $^1/_{400}$ ihres Gewichtes, vorausgesetzt, dass

auch die Neigungen der Bahn im selben Verhältnisse stehen. In Bogen wird dieser Widerstand grösser, u. zw. je nach der Pressung der Räder gegen die Schienen, je nach der Sehnenstellung des Radstandes und mit dem Kleinerwerden des Bogenradius.

Der Gesammt-Widerstand, welcher bei rollenden Fahrzeugen zu überwinden ist, hängt demnach ab vom Gewichte, der Beweglichkeit, der Belastung und Zahl der Wagen, vom Radstande und von den Bogenradien; er schwankt erfahrungsgemäss zwischen $^1/_{200}$ und $^1/_{300}$ des Gesammtgewichtes.

Bei Berechnung allgemeiner Fälle empfiehlt es sich, den Widerstands-Coëfficienten ohne Weiteres mit $\frac{1}{250}$ anzusetzen.

Nehmen wir an, irgend ein Wagen hätte ein Gewicht von 100 metrischen Centnern, so ist der zu überwindende Widerstand:

$$100 \times \frac{1}{250} = 0 \cdot 4 \text{ Mtr.-Centner.}$$

Fährt nun derselbe Wagen auf einer Steigung von 1:40, so wird sich der Widerstand erhöhen, u. zw. um

$$100 \times \frac{1}{40} = 2 \cdot 5 \text{ Mtr.-Centner}$$

so, dass im letzteren Falle der Gesammt-Widerstand gleich ist 2·9 Mtr.-Centner, was man sich versinnbildlichen kann, wenn man sich statt des rollenden Wagens eine Zugkraft denkt, die, sonst widerstandslos, ein Gewicht von 40 + 250 = 290 Kgr. an einem Seile über eine Rolle emporzuziehen hat.

Werden nun ideell diese 290 Kgr. 1000 Mtr. hoch, beziehungsweise das Wagengewicht von 10.000 Kgr. 1 Km. weit über eine Steigung von 1:40 gezogen, so repräsentirt das eine mechanische Leistung von

$$2 \cdot 9 \times \frac{1}{10} \times 1 \text{ Km.} = 0 \cdot 29$$

Widerstands-Tonnen-Kilometer.

Es ist der Widerstands-Tonnen-Kilometer ein Maassstab:

1. für die Grösse des Widerstandes, der sich der Bewegung des Zuges entgegensetzt;

2. für die Ermittelung der zur Ueberwindung desselben nöthigen mechanischen Leistung.

Für die Ermittelung der nöthigen Kraft der Anfangs- und End-Fahrgeschwindigkeit, der mechanischen Leistung etc. dienen nachfolgende Formeln, bei denen die zu passirenden Neigungen, die Bahnlängen, Niveau-Verhältnisse, Höhen-Differenzen, ferner die Beschaffenheit der Wagen und Lasten in Betracht zu ziehen sind.

Es dürfte häufig vorkommen, wenigstens ist bei der Anlage elektrischer Bahnen darauf Rücksicht zu nehmen, dass mehrere zuzammenhängende Waggons in Verkehr gesetzt werden, wobei es natürlich genügt, wenn nur ein Wagen mit einem Receptor ausgerüstet wird, der dann allerdings für die erhöhte mechanische Leistung genügend stark construirt sein muss.

Man hat übrigens auch schon elektrische Locomotiven in Verwendung, die nur von dem Locomotivführer besetzt sind und die jene Lasten, die befördert werden sollen, auf einzelnen zusammenhängenden Wagen vertheilt, ähnlich den Dampf-Locomotiven ziehen.

Es sei nun:

$M$ das Gewicht eines mit dem Receptor, eventuell den Accumulatoren ausgestatteten Wagens,

$T$ das Gewicht eines zweiten und

$Z$ das Gewicht eines dritten, nicht mit Receptor ausgestatteten Wagens,

$D$ das Adhäsions-Gewicht eines Wagens $M$,

$Q = M + T + Z$

und sind alle diese Gewichte in Meter-Centnern anzugeben;

ferner:

$\frac{1}{n}$ das Neigungs-Verhältniss einer Strecke,

$\frac{1}{\mathrm{r}}$ der Widerstands-Coefficient von $M$,

$\frac{1}{r}$ der Widerstands-Coefficient von $T$ und $Z$,

$\frac{1}{m}$ Coefficient der Reibung zwischen Rad und Schiene $\left(\text{schwankt zwischen } \frac{1}{5} \text{ und } \frac{1}{10}\right)$,

$c$ die Anfangs-Geschwindigkeit in einem zu betrachtenden Momente,

$v$ die End-Geschwindigkeit des Zuges, beide Angaben in Metern,

$p$ die Kraftäusserung des Receptors im Ganzen, in Meter-Centnern,

$P$ die Zugkraft, welche der Wagen mit dem Receptor auf $T$ ausübt, in Meter-Centnern,

$K$ der Seitendruck von $M$ auf die Schienen im Bogen (auch in Meter-Centnern),

$\mathfrak{t}$ der Seitendruck von $T$,
$k$ der Seitendruck von $Z$,
$s$ der zurückgelegte Weg,
$A$ der Radstand von $M$,
$\mathfrak{a}$ der Radstand von $T$,
$a$ der Radstand von $Z$,
$R$ der Curven-Radius.

Ferner:

| | In der Richtung der Bahn vom Anfangspunkt gegen den Endpunkt | | | |
|---|---|---|---|---|
| Steigungen . . . . . . . . | $\frac{1}{n'_1}$ | $\frac{1}{n_1''}$ | $\frac{1}{n_1'''}$ | . . . . . . |
| Längen der Steigungen . . | $s_1'$ | $s_1''$ | $s_1'''$ | . . . . . . |
| Höhen-Differenzen derselben | $h_1'$ | $h_1''$ | $h_1'''$ | . . . . . . |
| Gefälle . . . . . . . . . . | $\frac{1}{\mathfrak{n}_1'}$ | $\frac{1}{\mathfrak{n}_1''}$ | $\frac{1}{\mathfrak{n}_1'''}$ | . . . . . . |
| Längen derselben . . . . | $\mathfrak{s}_1'$ | $\mathfrak{s}_1''$ | $\mathfrak{s}_1'''$ | . . . . . . |
| Höhen-Differenzen derselben | $\mathfrak{h}_1'$ | $\mathfrak{h}_1''$ | $\mathfrak{h}_1'''$ | . . . . . . |
| Die Gesammtlänge der Steigungen . . . . . . . . . | $s_1 = s_1' + s_1'' + s_1''' \ldots$ | | | |
| Die Gesammthöhe derselben | $h_1 = h_1' + h_1'' + h_1''' \ldots$ | | | |
| Die Gesammtlänge der Gefälle . . . . . . . . . . | $\mathfrak{s}_1 = \mathfrak{s}_1' + \mathfrak{s}_1'' + \mathfrak{s}_1''' \ldots$ | | | |
| Die Gesammthöhe derselben | $\mathfrak{h}_1 = \mathfrak{h}_1' + \mathfrak{h}_1'' + \mathfrak{h}_1''' \ldots$ | | | |
| Erforderliche Zugkräfte auf Steigungen . . . . . . | $p_1'$ $p_1''$ $p_1''' \ldots$ | | | |
| in der Horizontalen . . | $\pi$ | | | |
| auf Steigungen . . . . | $\mathfrak{p}_1'$ $\mathfrak{p}_1''$ $\mathfrak{p}_1''' \ldots$ | | | |
| Länge der horizontalen Strecken . . . . . . . . | $\sigma$ | | | |

| | In der Richtung der Bahn vom Anfangspunkt gegen den Endpunkt |
|---|---|
| Länge der Strecken, wo der Receptor mit voller Kraft arbeiten muss . . . . . | $\mathfrak{S}_1 = \sigma + s_1 + \mathfrak{s}_1$ |
| Länge der ganzen Strecke | $S_1$ |
| Brutto - Tonnen - Kilometer, zurückgelegt auf der ganzen Strecke: | |
| von $M$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{B}_1'$ |
| von $T$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{B}_1''$ |
| von $Z$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{B}_1'''$ |
| Brutto - Tonnen - Kilometer, zurückgelegt in Strecken, wo der Receptor mit voller Kraft arbeiten muss: | |
| von $M$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{b}_1'$ |
| von $T$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{b}_1''$ |
| von $Z$ . . . . . . . . . | $\mathfrak{b}_1'''$ |
| Die mechanische Leistung auf Strecken, wo der Receptor ausschliesslich und mit voller Kraft arbeiten muss, pro Jahr . . . . | $L_1$. |

Für dieselben Werthe zum Verkehr in umgekehrter Richtung, also vom Endpunkte gegen den Anfangspunkt der Bahn, gelten dieselben Bezeichnungen, für diesen Fall aber mit dem Index 2:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| also: Steigungen . . . . . | $\frac{1}{n_2'}$ - | $\frac{1}{n_2''}$ | $\frac{1}{n_2'''}$ | . . . . |
| Längen der Steigungen . . | $s_2'$ | $s_2''$ | $s_2'''$ | . . . . |

Höhen-Differenzen derselben $h_2'$ $h_2''$ $h_2'''$ . . . .
u. s. f. bis

Die mechanische Leistung auf den Strecken, wo der Receptor ausschliesslich und mit voller Kraft arbeiten muss, pro Jahr . . $L_2$.

Zu diesen Bezeichnungen soll noch Folgendes zur Erläuterung dienen:

1. Es wird angenommen, dass auf steigenden und horizontalen Strecken der Receptor ausschliesslich und mit voller Kraft arbeiten muss, während auf Gefällen die Schwerkraft und das Beharrungs-Vermögen die volle Kraftäusserung des Receptors unnöthig machen.

2. Unter $T$ verstehe man auch insbesondere jenen zweiten Wagen, der bestimmt ist eventuell die Accumulatoren aufzunehmen.

3. Unter $Z$ nicht nur das Gewicht des dritten, sondern überhaupt aller weiteren Wagen nach dem zweiten.

Der Widerstand, der sich der Bewegung entgegensetzt, ist nun:

auf horizontalen Strecken:

$$\frac{M}{r} \quad \frac{T}{r} \quad \frac{Z}{r}$$

auf steigenden Strecken $\left(\frac{1}{n}:\right)$

$$\frac{M}{n} \quad \frac{T}{n} \quad \frac{Z}{n}$$

folglich der Gesammt-Widerstand auf der Steigung $\frac{1}{n}$

$$\frac{M}{\mathfrak{r}} + \frac{M}{n} = M\left(\frac{1}{\mathfrak{r}} + \frac{1}{n}\right)$$

$$\frac{T}{r} + \frac{T}{n} = T\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right)$$

$$\frac{Z}{r} + \frac{Z}{n} = Z\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right)$$

und die zur Ueberwindung des Widerstandes auf der Steigung $\frac{1}{n}$ nöthige Kraft des Receptors:

$$p = M\left(\frac{1}{\mathfrak{r}} + \frac{1}{n}\right) + T\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) + Z\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right)$$

oder

$$p = \frac{M}{\mathfrak{r}} + (T + Z)\frac{1}{r} + \frac{Q}{n} \;\ldots\ldots\quad 1$$

Die Geschwindigkeit, welche der Zug auf bezeichneter Steigung erreichen kann:

$$v^2 = c^2 + \frac{4\,g\,s}{Q}\left[p - \frac{M}{\mathfrak{r}} - \left(\frac{T+Z}{r}\right) - \frac{Q}{n}\right] \;..2$$

Ist $c$ zu vernachlässigen, so wird:

$$v^2 = \frac{4\,g\,s}{Q}\left(p - \left[\frac{M}{\mathfrak{r}} + \left(\frac{T+Z}{r}\right) + \frac{Q}{n}\right]\right)$$

und daraus folgt:

$$p = M\left(\frac{v^2}{4\,g\,s} + \frac{1}{\mathfrak{r}} + \frac{1}{n}\right) + (T + Z)$$
$$\left(\frac{v^2}{4gs} + \frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) \;\ldots\ldots\quad 3)$$

Die mechanische Leistung zur Fortbewegung der Wagen durch die Zugkraft $p$ auf die Distanz $s$ erhält man:

$$p\,s = M\left(\frac{v^2}{4\,g} + \frac{s}{\mathfrak{r}} + \frac{s}{n}\right) + (T + Z) \text{ mal}$$

$$\left(\frac{v^2}{4\,g} + \frac{s}{r} + \frac{s}{n}\right)$$

und da $\frac{s}{n} = h$, so ist

$$p\,s = M\left(\frac{v^2}{4\,g} + \frac{s}{r} + h\right) + (T + Z)$$

$$\left(\frac{v^2}{4\,g} + \frac{s}{r} + h\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; 4$$

Fährt nun ein Zug vom Anfangspunkt gegen den Endpunkt der Linie, so passirt er die Steigungen

$$\frac{1}{n_1{}'} \quad \frac{1}{n_1{}''} \quad \frac{1}{n_1{}'''} \quad . \; . \; . \; . \; . \; .$$

mit den Längen $s_1{}'$ $s_1{}''$ $s_1{}'''$ .... und Geschwindigkeiten $v_1{}'$ $v_1{}''$ $v_1{}'''$....., welche verschiedene Zugkräfte $p_1{}'$ $p_1{}''$ $p_1{}'''$.... in Anspruch nehmen, und erhalten daher die mechanischen Leistungen auf den einzelnen Strecken folgende Werthe:

$$p_1{}'\,s_1{}' = M\left(\frac{v_1{}'^2}{4\,g} + \frac{s_1{}'}{r} + \frac{s_1{}'}{n_1{}'}\right) + (T + Z)$$

$$\left(\frac{v_1{}'^2}{4\,g} + \frac{s_1{}'}{r} + \frac{s_1{}'}{n_1{}'}\right)$$

$$p_1{}''\,s_1{}'' = M\left(\frac{v_1{}''^2}{4\,g} + \frac{s_1{}''}{r} + \frac{s_1{}''}{n_1{}''}\right) + (T + Z)$$

$$\left(\frac{v_1{}''^2}{4\,g} + \frac{s_1{}''}{r} + \frac{s_1{}''}{n_1{}''}\right)$$

$$p_1{}'''\,s_1{}''' = M\left(\frac{v_1{}'''^2}{4\,g} + \frac{s_1{}'''}{r} + \frac{s_1{}'''}{n_1{}'''}\right) + (T + Z)$$

$$\left(\frac{v_1{}'''^2}{4\,g} + \frac{s_1{}'''}{r} + \frac{s_1{}'''}{n_1{}'''}\right)$$

Die Summe dieser mechanischen Leistungen $\Sigma\, p\, s$ giebt die Gesammtleistung der Zugkraft; substituirt man

ferner die Werthe nach der Erwägung, dass die verschiedenen Quotienten $\frac{s}{n} = h$ (verschieden in der Schreibweise und dem Index) und da endlich $v_1^2 = v_1'^2 + v_1''^2 + v_1'''^2 \ldots\ldots$, so erhält man:

$$\Sigma\, p\, s = M\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{s}{\mathfrak{r}} + h_1\right) + (T + Z)\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{s_1}{r} + h_1\right)$$

$$\Sigma\, \mathfrak{p}\, \mathfrak{s} = M\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{s}_1}{\mathfrak{r}} - \mathfrak{h}_1\right) + (T + Z)\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{s}_1}{r} - \mathfrak{h}_1\right)$$

$$\Sigma\, \pi\, \sigma = M\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{\sigma}{\mathfrak{r}}\right) + (T + Z)\left(\frac{v_1^2}{4\,g} + \frac{\sigma}{r}\right)$$

und daher

$$\Sigma\, p\, s + \Sigma\, \mathfrak{p}\, \mathfrak{s} + \Sigma\, \pi\, \sigma = M\left(\frac{3\,v_1^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{r}} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right) + (T + Z)\left(\frac{3\,v_1^2}{4\,g} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right) \ldots\ldots \quad 5)$$

Ist die Zahl der Züge in einer gewissen Zeit, z. B. pro Jahr, $= N$, so folgt:

$$L_1 = N\,(\Sigma\, p\, s + \Sigma\, \mathfrak{p}\, \mathfrak{s} + \Sigma\, \pi\, \sigma)$$

oder

$L_1 = N$ (mit der rechten Seite der Gleichung 5) ...... 6

Nun ist aber

$$N\,.\,M = N\,.\,M\,\frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{S}_1},$$

$$N\,(T + Z) = N\,(T + Z)\,\frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{S}_1}$$

und

$$N \,.\, M \,.\, \mathfrak{S}_1 = \mathfrak{b}_1{}'$$

dann

$$N\,(T + Z)\,\mathfrak{S}_1 = \mathfrak{b}_1{}'' + \mathfrak{b}_1{}''',$$

folglich

$$N \,.\, M = \frac{\mathfrak{b}_1}{\mathfrak{S}_1}$$

und

$$N\,(T + Z) = \left(\frac{\mathfrak{b}_1{}'' + \mathfrak{b}_1{}'''}{\mathfrak{S}_1}\right).$$

Führt man diese Bezeichnung in die Gleichung 6 ein, so erhält man

$$L_1 = \frac{\mathfrak{b}_1{}'}{\mathfrak{S}_1}\left(\frac{3}{4} \cdot \frac{v_1{}^2}{g} + \frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{r}} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right) + \left(\frac{\mathfrak{b}_1{}'' + \mathfrak{b}_1{}'''}{\mathfrak{S}_1}\right)$$
$$\left(\frac{3}{4} \cdot \frac{v_1{}^2}{g} + \frac{\mathfrak{S}_1}{r} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right).$$

Es ist aber

$$\mathfrak{b}_1{}' = \mathfrak{B}_1{}' \,.\, \frac{\mathfrak{S}_1}{S}$$

und

$$(\mathfrak{b}_1{}'' + \mathfrak{b}_1{}''') = (\mathfrak{B}_1{}'' + \mathfrak{B}_1{}''') . \frac{\mathfrak{S}_1}{S}$$

und dieser Werth nun in die letzte Formel für $L_1$ substituirt, ergiebt die endgiltige Formel für die mechanische Leistung in der Richtung vom Anfangs- gegen den Endpunkt der Bahn:

$$L_1 = \frac{\mathfrak{B}_1{}'}{S}\left(\frac{3v_1{}^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{S}_1}{\mathfrak{r}} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right) + \left(\frac{\mathfrak{B}_1{}'' + \mathfrak{B}_1{}'''}{S}\right).$$
$$\left(\frac{3v_1{}^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{S}_1}{r} + h_1 - \mathfrak{h}_1\right) \quad . \;.\; .\; .\; 7$$

und für die Richtung vom End- gegen den Anfangspunkt der Bahn:

$$L_2 = \frac{\mathfrak{B}_2'}{S} \left(\frac{3\,v_2^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{S}_2}{r} + h_2 - \mathfrak{h}_2\right) + \left(\frac{\mathfrak{B}_2'' + \mathfrak{B}_2'''}{S}\right) \left(\frac{3\,v_2^2}{4\,g} + \frac{\mathfrak{S}_2}{r} + h_2 - \mathfrak{h}_2\right) \quad \ldots \ldots 8$$

Daraus erhellt, dass eine genaue Kenntniss der zurückgelegten Brutto-Tonnen-Kilometer für den Betriebs-Calculator ein absolutes Erforderniss ist, und wird man daher nicht nur vor dem Baue der Eisenbahn auf Grund von Wahrscheinlichkeits-Annahmen zur Ermittelung der nöthigen Kraft, Rechnungen nach obigen Formeln (1—5) anstellen müssen; es wird auch nöthig sein, während des Betriebes genaue Aufschreibungen über den thatsächlichen Verkehr zu führen, umsomehr, da hiernach die Inanspruchnahme der Schienen und Räder calculirt werden muss, was im Interesse der Sicherheit des Verkehres nicht unterlassen werden darf.

Es wurde schon hervorgehoben, dass der Reibungs-Coefficient zwischen Rad und Schiene zwischen $^1/_5$ und $^1/_{10}$, und zwar je nach der Witterung und anderen Umständen schwankt; in Curven aber die Inanspruchnahme der Schienen und Räder naturgemäss eine erhöhte ist.

Bezeichnet:

$S$ die Länge der Strecke,

$s$ die Länge der Bogen,

$\mathfrak{B}$ zurückgelegte Brutto-Tonnen-Kilometer eines Fahrzeuges auf der ganzen Strecke,

$b$ dasselbe in den Bogen,

$N$ Anzahl der Fahrten in einem gewissen Zeitraume,

$s\,K$ die Inanspruchnahme der Schienen und Räder bei einer Fahrt,

$I = s\ K\ N$; und behalten wir ferner die bei den Formeln 1—8 gewählten Bezeichnungen für dieselben Werthe, so können einige neue Formeln gebildet werden, die beim elektrischen Bahnbetriebe vielfache Beachtung finden müssen. Es sollen dieser Formelbildung aber folgende Erwägungen vorausgesendet werden:

Bei den Formeln 1—8 wurden hauptsächlich nur die Neigungs-Verhältnisse der Bahntrace in Betracht gezogen. Nun ist es aber klar, dass auch die Richtungs-Verhältnisse auf die Leistungsfähigkeit, das Krafterforderniss und den mechanischen Effect des Receptors bestimmenden Einfluss ausüben, denn es ist für diese Calculations-Factoren gewiss zu berücksichtigen wichtig, ob die Bahn in einer geraden Linie oder in einer Schlangenlinie geführt werden musste. Bei der Fahrt in Bogen muss jeder Wagen eine Sehnenstellung einnehmen, und ist genöthigt, die Richtung der krummen statt der tangentiellen Linie einzuhalten, wodurch Pressungen der Räder gegen die Schienen erfolgen, die insbesondere bei grösseren Geschwindigkeiten, wie Formel 9 zeigt, ganz bedeutend werden können.

Es ist nämlich:

$$\left.\begin{aligned} K &= \frac{v^2}{2\,g\,R} \cdot M \left(1 + \frac{A}{4}\right) \\ \mathfrak{t} &= \frac{v^2}{2\,g\,R} \cdot T \left(1 + \frac{\mathfrak{a}}{4}\right) \\ k &= \frac{v^2}{2\,g\,R} \left( \cdot\ q\, 1 + \frac{a}{4}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 9$$

Diese Formeln bedürfen wohl keines Commentars. Die besonderen Nachtheile dieser Seitendrucke seien gleich hier angegeben. Die Widerstände in Bogen sind erfahrungsgemäss circa 20% höher als jene in geraden horizontalen Tracen; die Seitenpressungen haben das Bestreben, das Geleise zu erweitern; die Abnützung der Schienen, namentlich des äusseren erhöhten Schienenstranges, ist eine gesteigerte; die Fahrzeuge sind in Folge ihrer Tendenz, das Geleise zu erweitern, und in Folge der diagonalen Schwankungen der Gefahr ausgesetzt, auf die Schienen aufzusteigen, d. h. zu entgleisen, und zwar umsomehr, je grösser der Radstand der Fahrzeuge ist; auch die Räder werden beim Verkehre in vielen Radien bedeutender abgenützt und müssen früher abgedreht werden.

Da nun

$$K = \frac{v^2}{2\,g\,R} \,.\, M \left(1 + \frac{A}{4}\right)$$

so folgt, dass

$$I = s \,.\, K \,.\, N = \frac{v^2}{2\,g\,R} \,.\, M \left(1 + \frac{A}{4}\right) s \,.\, N$$

oder

$$I = \frac{v^2}{2\,g\,R}\left(1 + \frac{A}{4}\right) \mathfrak{b}$$

und da

$$\mathfrak{b} = \frac{\mathfrak{B} \,.\, s}{S}$$

ist, wird

$$I = \frac{v^2}{2\,g\,R}\left(1 + \frac{A}{4}\right)\frac{s}{S} \,.\, \mathfrak{B} \quad . \; . \; . \; . \; 10.$$

Diese Inanspruchnahme der Schienen und Räder muss insbesondere bei Ermittelung der in Bogen zulässigen grössten Fahrgeschwindigkeiten berücksichtigt werden. Es wurde schon früher angedeutet, dass bei Secundär-Bahnen die Maximal-Geschwindigkeit 40 Km., die durchschnittliche Geschwindigkeit aber 20 Km. betragen darf. In Bogen, besonders in scharfen, wird man jedoch weit unter letztere herabgehen müssen.

Die zulässige Maximal-Geschwindigkeit in Bogen wird nach der Formel:

$$v = \sqrt{\frac{2\,g\,R\,.\,K}{M\left(1+\frac{A}{4}\right)}} \quad \ldots\ldots 11.$$

berechnet, und ist selbe, wie ersichtlich, aus Formel 9, erster Theil, abgeleitet.

Bei der Fixirung der Fahrgeschwindigkeit im Allgemeinen wird man in erster Reihe die Sicherheit des Betriebes, dann die Anforderung des Verkehres zu berücksichtigen haben, und auch die Forderungen der Oekonomie nicht ausser Acht lassen dürfen.

Der primäre Motor wird wohl während der Verkehrszeit in ununterbrochenem Betriebe stehen müssen, d. h. man wird verfügen, dass die Generatoren stets zur Abgabe von Strom bereit, beziehungsweise deren Armaturen in Rotation sind, um nach Belieben Waggons in den betreffenden Schaltungs-Sectionen in Verkehr setzen zu können; dennoch aber wird eine Telegraphen- oder Telephon-Verbindung zwischen dem Endpunkten der Schaltungs-Sectionen, beziehungsweise diesen Endpunkten und dem Maschinenraume nöthig werden, um eine leichte Verständigung zwischen dem beim Receptor dienst-

thuenden Mechaniker und dem Maschinenwärter bei den Generatoren zu ermöglichen.

Wenn auch der Maschinenwärter sofort am Gange der Maschine erkennen kann, wann der Schliessungskreis geschlossen, also ein Waggon im Laufe ist, so wird man ihm dies doch noch extra durch geeignete Bussolen erkennbar machen, und werden ihm diese auch anzeigen, ob sich der Wagen dem Generator nähert oder vom selben entfernt. Ist die Maschinen-Station von den Geleisen etwas weiter entfernt, so sind solche in Rede stehende Einrichtungen unerlässlich.

Wenn mehrere Generatoren in ein und demselben Maschinenhause aufgestellt sind, so empfiehlt es sich, einen Umschalter aufzustellen, der es ermöglicht, mehrere Generatoren zusammenschalten oder jeden beliebigen Generator für jede beliebige Linie verwenden zu können.

Der Betrieb einer elektrischen Eisenbahn mittelst Accumulatoren gestaltet sich wesentlich einfacher, und hat nur den einen empfindlichen Nachtheil, dass man dabei eine so bedeutende todte Last mitbefördern muss. Die »todte Last«, d. i. jene, die zur Beförderung der Personen und Sachen entweder nicht unbedingt nöthig oder nicht ausgenützt ist, herunterzudrücken, ist bei allen Beförderungsarten eine fortwährende stehende Aufgabe.

Wir werden bei Besprechung der Fahrzeuge (X. Abschnitt) sehen, dass auf einen Sitzplatz nicht mehr als 60—80 Kgr. Wagengewicht entfallen sollen. Hätte man z. B. Wagen im Gewichte von 2400 Kgr. mit 30 Sitzplätzen im Gebrauche und wäre die Besetzung dieser Waggons eine durchschnittlich zwanzigpercentige, so

würde in diesem Falle auf einen besetzten Platz 400 Kgr. Wagengewicht, d. i. eine bedeutende todte Last entfallen. Man wird, um die todte Last zu reduciren, eben kleinere und leichtere Wagen verwenden müssen, und da dies nachträglich meistentheils schwer zu ermöglichen sein wird, erübrigt dann nur, die Anzahl der Fahrten zu restringiren, um die Passagiere auf eine geringere Wagenanzahl zu beschränken, eine Abhilfe, die allerdings bedenkliche Seiten hat und die Rentabilität des Unternehmens empfindlich zu schädigen im Stande ist.

Nun kann man nach den vorliegenden, vorläufig noch geringen Erfahrungs-Resultaten annehmen, dass man per Sitzplatz einen Accumulator à 40 Kgr. benöthigt, so dass, wenn bei Generator-Betrieb auf den Sitzplatz 60—80 Kgr. Wagengewicht entfallen, bei Accumulatoren-Betrieb dieses Gewicht sich auf 100—120 Kgr. erhöhen muss. Also auch hier und vielleicht ganz besonders zum Betriebe elektrischer Eisenbahnen wird sich die Construction möglichst leichter Accumulatoren als eine lohnende Aufgabe erweisen, eine Aufgabe, von deren Lösung wesentliche Aenderungen in der Verwendung elektrischer Kräfte zu erwarten sind.

Die Anordnung einer elektrischen Eisenbahn mit Accumulator-Betrieb gestattet übrigens auch mit Bezug auf den primären (Dampf-, Gas- etc.) Motor eine bessere Ausnützung vorhandener günstiger Verhältnisse und erfordert nicht, dass man wie beim Generator-Betrieb trachte, den primären Motor möglichst in der Mitte der Linie aufzustellen. Man wird vielmehr die Ladung der Accumulatoren an einem beliebigen Orte auch entfernt von dem Bahnkörper vornehmen können, wenn nur der

Transport der Accumulatoren in die Waggons leicht möglich ist und nicht allzu grosse Kosten verursacht. Hat man daher den primären Motor nicht in der Nähe der eigentlichen Bahntrace aufgestellt, so kann man, wenn es halbwegs möglich, eine eigene Schienen-Verbindung zum Motor bauen, die Accumulatoren direct auf die Waggons laden und so auch den Ersatz entladener gegen geladene Accumulatoren bewirken.

Der Accumulator-Betrieb bietet aber noch andere Vortheile, als die Unabhängigkeit vom Aufstellungspunkte des Motors und den Wegfall der Leitungen. Gesetzt, ein Wagen von 46 Sitzplätzen und 4·5 Tonnen Gewicht wäre — wie dies von der »Electrical Power Storage Company« ausgeführt wurde — mit 50 Accumulatoren ausgestattet. Zur Bewegung des leeren Wagens in normaler Geschwindigkeit genügen etwa 25—30 Accumulatoren. Je nach der erfolgenden Belastung werden nun mehr oder weniger Accumulatoren zugeschaltet und dort, wo die Wagen Steigungen zu überwinden haben, kann die ganze für so ausserordentlichen Kraftbedarf mitgeführte Reserve eingeschaltet werden. Bei der Fahrt im Gefälle kann man aber die Zahl der in den Receptor eingeschalteten Accumulatoren nicht so ohne Weiteres verringern, wie dies durch die Benützung der schiefen Ebene zur Beförderung von Lasten möglich scheint, denn man darf dabei nicht ausser Acht lassen, dass bei der elektrischen Kraftübertragung — und wir haben es ja im vorliegenden Falle ebenfalls mit einer solchen zu thun, — dann der beste Effect erzielt wird, wenn die elektromotorische, im Receptor erzeugte Gegenkraft halb so gross wird, als die zur Erzielung der Rotation im Re-

ceptor aufgewendete primäre elektromotorische Kraft, und dass die letztere nie schwächer werden darf, als jene Gegenkraft, da sonst eine Umkehrung des Processes in den Accumulatoren eintreten würde. Man wird also dort, wo der Wagen nicht ohne eine Kraftäusserung am Receptor zu laufen im Stande ist, mindestens so viel Accumulatoren einschalten müssen, dass deren elektromotorische Kraft grösser ist als die elektromotorische Gegenkraft des Receptors.

Vom Nutzeffect bei der Kraftübertragung mittelst Accumulatoren wurde schon auf Seite 154 gesprochen. Wir haben ferner gesehen, dass die Gesammt-Widerstände, welche bei der Bewegung der Eisenbahnwagen überwunden werden müssen, mit einem Coëfficienten von $^1/_{250}$ anzusetzen sind. Nehmen wir ferner eine Fahrgeschwindigkeit, nach welcher das Rad per Secunde 4·16 Meter zurücklegen soll, so wird man also, um eine Last von 4500 Kgr. mit dieser Geschwindigkeit auf Eisenbahnschienen bei dem citirten Widerstands-Coëfficienten zu bewegen, an Kraft

$$\frac{4500 \times 4{\cdot}16}{250} = 74{\cdot}8 \text{ Kgr.}$$

benöthigen.

Nun liefert aber, wie schon gezeigt wurde, jedes Kilogramm der Faure'schen Elemente 0·071 Kgr.-M. Arbeit. Sagen wir etwas weniger und und nehmen wir kurzweg 0·07 Kgr.-M. Arbeit per Kilogramm, so benöthigt man zu dem oben angedeuteten Zwecke circa 27 Accumulatoren à 40 Kgr.; dadurch bewegt man aber nur den nicht besetzten Wagen. Je nach der Maximal-Belastung des letzteren, wobei eine Person durchschnittlich mit 75 Kgr.

anzunehmen ist, wird man nun den Mehrbedarf an Accumulatoren zu berechnen haben und dabei die nöthige Reserve für Kraftverluste und für Aushilfe zur Ueberwindung etwa erhöhter Widerstände (bei Steigungen etc.) nicht vergessen dürfen. Man construirt übrigens heutzutage Accumulatoren, die mehr als 0·07 Kgr.-M. per Kilo leisten, und sollen insbesondere die Faure- Sellon-Volckmar-Secundär-Batterien recht zufriedenstellende Resultate ergeben.

Die von Laien häufig ausgesprochene Befürchtung, dass nach einer gewissen Benützungsdauer der geladenen Accumulatoren die aufgespeicherte Kraft zu sehr abnehme und in den verschiedenen Gebrauchsstadien allzu empfindlich differire, ist grundlos. Man liebt es, strömende Elektricität mit strömendem Wasser zu vergleichen. Man kann daher auch hier die Accumulatoren mit einem Wasser-Reservoir vergleichen, aus dem eine am Boden des Reservoirs angebrachte Röhre nach einem tiefergelegenen Punkte führt, und aus der das Wasser so lange strömen wird, bis das Reservoir leer ist. Die Ausflussgeschwindigkeit hängt dabei allerdings von den Niveau-Differenzen ab, sie wird aber ziemlich gleichmässig sein, wenn das Reservoir so hoch situirt ist, dass die Entfernung des Wasserspiegels von der Bodenplatte des Reservoirs klein ist im Vergleiche zur verticalen Länge der Röhre.

## Der elektrische Bahnbetrieb.

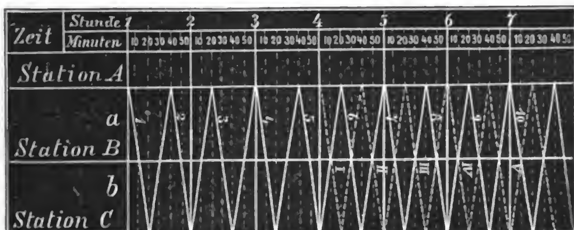
Bei jedem Bahnbetriebe ist es im Vorhinein zu wissen nöthig, ob derselbe dem Personen- oder dem Sachentransport oder beiden dienen soll; im letzteren Falle ist auch zu berücksichtigen, welcher Transport der vorherrschende und daher wichtigere ist. In weiterer Reihe ist dann auch die Richtung des Verkehrs in Betracht zu ziehen. Bahnen zur ausschliesslichen Güterbeförderung werden den Betrieb nach den ohnehin gegebenen Verhältnissen und Anforderungen einleiten und regeln.

Bahnen zum ausschliesslichen Personentransport haben sich ebenfalls den Anforderungen des Bedürfnisses anzupassen, nur wird man in diesem Falle den Zugsverkehr in jenen Tagesstunden, in welchen eine stärkere Personenfrequenz in Aussicht steht, auch dichter arrangiren, während man bei Bahnen mit ausschliesslichem Lastentransport die möglichste Stetigkeit und Gleichmässigkeit des Zugverkehrs anstrebt.

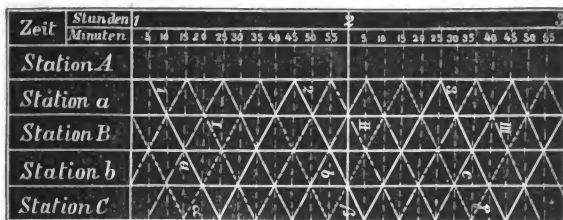
Soll die Bahn gleichzeitig dem Personen- und Sachentransport dienen, dann wird das Studium nach dem besten Zugs-Arrangement nicht so leicht sein und die günstigste Eintheilung des Zugverkehres bezüglich Zeit und Raum viele Sorgfalt und eine fortwährende Beobachtung der Veränderungen in der Beförderungs-Intensität erfordern, um sofort auch die nöthigen Abänderungen im Zugverkehre treffen zu können. Schon bei der Anlage der Bahn wird man genaue Calculationen über das Erforderniss an Fahrbetriebs-Mitteln anstellen müssen um einerseits nicht zu viel, andererseits aber doch ausreichend anzuschaffen; während des Betriebes aber wird es die

Hauptaufgabe des Betriebs-Leiters sein, den geforderten Transport mit der geringsten Anzahl von Fahrbetriebs-Mitteln und mit möglichster Ersparniss an motorischer Kraft zu bewältigen.

Graphikon A.




Graphikon B.




Zur Regulirung der Fahrten wird eine »Fahrordnung« aufgestellt, und soll im Nachstehenden ein Beispiel einer solchen Fahrordnung gegeben werden, bei welcher folgende Annahmen gemacht wurden: Es ist eine zum ausschliesslichen Personentransport bestimmte 4 Km. lange Bahn zur Verfügung, welche genau in der Mitte eine Ausweichestation und sonst keine Haltestellen,

daher nur drei Stationen *A*, *B* und *C* hat. Von *A* nach *B* hat die Bahn eine Steigung von 1 : 250, von *B* nach *C* ein Gefälle von demselben Verhältnisse. Man wird nun vorerst die Fahrordnung generell und graphisch darstellen. Die Bahn soll mit einer Maximal-Geschwindigkeit von 20 Km. und einer durchschnittlichen Normal-Geschwindigkeit von 13 Km. per Stunde befahren werden.

Die umstehend eingefügte graphische Darstellung eines passenden Fahrplanes ist in den Tabellen auf Seite 187 bis 189 in eine Form gebracht, wie sie dem executiven Personale gewöhnlich eingehändigt wird.

Hierzu ist Folgendes zu bemerken: In der Zeit von 1 Uhr bis 4 Uhr Nachmittags verkehrt nur ein Wagen, der immer nach Verlauf von 40 Minuten von der Station *A*, beziehungsweise von der Station *B* abgeht. In der Zeit von 4 Uhr bis 7 Uhr 20 Minuten verkehren zwei Wagen, so dass nunmehr in je 20 Minuten von jeder Station ein Wagen abgehend gemacht wird.

Hiermit ist bei dieser Anordnung das Maximum der Leistungsfähigkeit erreicht, ein dritter Wagen kann nicht mehr in die Fahrordnung eingelegt werden und mit den beiden Wagen *A* und *B* lässt sich keine höhere Leistung erzielen.

Genügt diese Zugstourenzahl nicht, so wird man in den durch die Linien *a* und *b* angedeuteten Stationen Ausweichen in die Geleise einlegen, wodurch man den Zugverkehr derart erhöhen kann, dass er wohl sehr weit gehenden Anforderungen entsprechen dürfte. Graphikon *B* zeigt die bezügliche Anordnung für zwei Stunden.

Fahrt des Wagens A.

| Stationen | | Entfernung in Metern | | Fahrzeit | | Ankunft | | Aufenth. | | Abgang | | Trifft den Wagen | Kürzeste Fahrzeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | einzeln | zusam. | St. | M. | St | M | St | M. | St. | M. | | |
| 1. Fahrt | A | | | | | | | | | 1 | 00 | Nchm. | |
| | B | 2000 | | | 9 | 1 | 09 | | 1 | 1 | 10 | | 7 |
| | C | 2000 | 4000 | | 8 | 1 | 18 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 1 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 1 | 29 | | 1 | 1 | 30 | | 7 |
| | A | | | | 8 | 1 | 38 | | | | | | 6 |
| 2. Fahrt | A | | | | | | | | | 1 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 1 | 49 | | 1 | 1 | 50 | | 7 |
| | C | | | | 8 | 1 | 58 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 2 | 00 | | |
| | B | | | | 9 | 2 | 09 | | 1 | 2 | 10 | | 7 |
| | A | | | | 8 | 2 | 18 | | | | | | 6 |
| 3. Fahrt | A | | | | | | | | | 2 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 2 | 29 | | 1 | 2 | 30 | | 7 |
| | C | | | | 8 | 2 | 38 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 2 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 2 | 49 | | 1 | 2 | 50 | | 7 |
| | A | | | | 8 | 2 | 58 | | | | | | 6 |
| 4. Fahrt | A | | | | | | | | | 3 | 00 | | |
| | B | | | | 9 | 3 | 09 | | 1 | 3 | 10 | | 7 |
| | C | | | | 8 | 3 | 18 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 3 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 3 | 29 | | 1 | 3 | 30 | | 7 |
| | A | | | | 8 | 3 | 38 | | | | | | 6 |
| 5. Fahrt | A | | | | | | | | | 3 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 3 | 49 | | 1 | 3 | 50 | | 7 |
| | C | | | | 8 | 3 | 58 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 4 | 00 | | |
| | B | | | | 9 | 4 | 09 | | 1 | 4 | 10 | $B_1$ | 7 |
| | A | | | | 8 | 4 | 18 | | | | | | 6 |
| 6. Fahrt | A | | | | | | | | | 4 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 4 | 29 | | 1 | 4 | 30 | $B_1$ R | 7 |
| | C | | | | 8 | 4 | 38 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 4 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 4 | 49 | | 1 | 4 | 50 | $B_2$ | 7 |
| | A | | | | 8 | 4 | 58 | | | | | | 6 |

**Fahrt des Wagens A.**

| Stationen | | Entfernung in Metern | | Fahrzeit | | Ankunft | | Aufenth. | | Abgang | | Trifft den Wagen | Kürzeste Fahrzeit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | einzeln | zusam. | St. | M. | St. | M. | St. | M. | St. | M. | | |
| 7. Fahrt | A | | | | | | | | | 5 | 00 | Nchm. | |
| | B | 2000 | | | 9 | 5 | 09 | | 1 | 5 | 10 | $B_2$ R | 7 |
| | C | 2000 | 4000 | | 8 | 5 | 18 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 5 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 5 | 29 | | 1 | 5 | 30 | $B_3$ | 7 |
| | A | | | | 8 | 5 | 38 | | | | | | 6 |
| 8. Fahrt | A | | | | | | | | | 5 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 5 | 49 | | 1 | 5 | 50 | $B_3$ R | 7 |
| | C | | | | 8 | 5 | 58 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 6 | 00 | | |
| | B | | | | 9 | 6 | 09 | | 1 | 6 | 10 | $B_4$ | 7 |
| | A | | | | 8 | 6 | 18 | | | | | | 6 |
| 9. Fahrt | A | | | | | | | | | 6 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 6 | 29 | | 1 | 6 | 30 | $B_4$ R | 7 |
| | C | | | | 8 | 6 | 38 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 6 | 40 | | |
| | B | | | | 9 | 6 | 49 | | 1 | 6 | 50 | $B_5$ | 7 |
| | A | | | | 8 | 6 | 58 | | | | | | 6 |
| 10. Fahrt | A | | | | | | | | | 7 | 00 | | |
| | B | | | | 9 | 7 | 09 | | 1 | 7 | 10 | $B_5$ R | 7 |
| | C | | | | 8 | 7 | 18 | | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | | | 7 | 20 | | |
| | B | | | | 9 | 7 | 29 | | 1 | 7 | 30 | | 7 |
| | A | | | | 8 | 7 | 38 | | | | | Abd. | 6 |

**Fahrt des Wagens B.**

| Stationen | | Entfernung in Metern einzeln | Entfernung in Metern zusam. | Fahrzeit M. | Ankunft U. | Ankunft M. | Aufenth. M. | Abgang U. | Abgang M. | Trifft den Wagen | Kürzeste Fahrzeit M. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Fahrt | A | | | | | | | 4 | 00 | | |
| | B | 2000 | | 9 | 4 | 09 | 1 | 4 | 10 | $A_5$ R | 7 |
| | C | 2000 | 4000 | 8 | 4 | 18 | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | 4 | 20 | | |
| | B | | | 9 | 4 | 29 | 1 | 4 | 30 | $A_6$ | 7 |
| | A | | | 8 | 4 | 38 | | | | | 6 |
| 2. Fahrt | A | | | | | | | 4 | 40 | | |
| | B | | | 9 | 4 | 49 | 1 | 4 | 50 | $A_6$ R | 7 |
| | C | | | 8 | 4 | 58 | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | 5 | 00 | | |
| | B | | | 9 | 5 | 09 | 1 | 5 | 10 | $A_7$ | 7 |
| | A | | | 8 | 5 | 18 | | | | | 6 |
| 3. Fahrt | A | | | | | | | 5 | 20 | | |
| | B | | | 9 | 5 | 29 | 1 | 5 | 30 | $A_7$ R | 7 |
| | C | | | 8 | 5 | 38 | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | 5 | 40 | | |
| | B | | | 9 | 5 | 49 | 1 | 5 | 50 | $A_8$ | 7 |
| | A | | | 8 | 5 | 58 | | | | | 6 |
| 4. Fahrt | A | | | | | | | 6 | 00 | | |
| | B | | | 9 | 6 | 09 | 1 | 6 | 10 | $A_8$ R | 7 |
| | C | | | 8 | 6 | 18 | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | 6 | 20 | | |
| | B | | | 9 | 6 | 29 | 1 | 6 | 30 | $A_9$ | 7 |
| | A | | | 8 | 6 | 38 | | | | | 6 |
| 5. Fahrt | A | | | | | | | 6 | 40 | | |
| | B | | | 9 | 6 | 49 | 1 | 6 | 50 | $A_9$ R | 7 |
| | C | | | 8 | 6 | 58 | | | | | 6 |
| retour | C | | | | | | | 7 | 00 | | |
| | B | | | 9 | 7 | 09 | 1 | 7 | 10 | $A_{10}$ | 7 |
| | A | | | 8 | 7 | 18 | | | | | 6 |

Genügt auch diese Anordnung noch nicht, so erübrigt nur, alle 500 Mtr. eine Haltestelle und Ausweiche einzulegen, oder noch besser, gleich eine zweigeleisige Bahn zu bauen.

---

## VIII.

## Ueber Dampfmaschinen, Dampfkessel und Transmissionen zum Betriebe von Elektro-Dynamo-Maschinen.

Compound-Maschinen. — Verschiedene Systeme von Rotations-Maschinen. — Ueber Dampfkessel. — Transmissionen. — Verwendung von Wasserkraft zum Betriebe von Dynamo-Maschinen.

Die vielseitige Anwendung, welche die Elektricität für Kraftübertragung, für Beleuchtungszwecke etc. in den letzten Jahren bereits erfahren hat und voraussichtlich noch im erhöhten Maasse finden wird, hat auch einen wesentlichen Einfluss auf die zweckmässige Construction der zum Betriebe dynamo-elektrischer Maschinen bestimmten Dampfmotoren genommen.

Wenn auch unsere Dampfmaschinen-Constructeure seit Langem bemüht waren, durch geeignete Constructionen den auf Gleichmässigkeit des Ganges und auf möglichst ökonomischen Betrieb gestellten Anforderungen gerecht zu werden, so treten heute diese Wünsche beim Betriebe von Dynamo-Maschinen doppelt fühlbar an sie heran. Der bedeutende Kraftverlust, der durch die elektrische Transmission dermalen noch verursacht wird,

vertheuert ohnedies die Betriebskosten derartiger Anlagen, so dass auf die grösstmögliche Oekonomie beim Betrieb des Dampfmotors geachtet werden muss. Nicht minder wichtig ist die Gleichmässigkeit des Ganges sowohl bezüglich einer constanten Tourenzahl per Zeiteinheit als auch einer constanten Winkel-Geschwindigkeit während eines Umganges der Dampfmaschine, denn durch die Uebertragung der Geschwindigkeit auf dynamo-elektrische Maschinen, die eine grosse Tourenzahl beanspruchen, steigert sich je nach dem Uebersetzungs-Verhältnisse die Ungleichmässigkeit der Bewegung.

Es ist daher vor Allem wünschenswerth, die Tourenzahl der Dampfmaschine mit jener des Elektromotors in thunliche Uebereinstimmung zu bringen, d. h. die Tourenzahl der Dampfmaschine aufs Möglichste zu erhöhen.

Die für den Bau von Dampfmaschinen allgemein giltigen Grundsätze bezüglich solider, compendiöser und einfacher Construction gelten natürlicherweise auch hier, sind so allgemein bekannt und in der technischen Literatur so oft erörtert, dass selbe übergangen werden können, um so mehr, da ein gründliches Eingehen auf diesen Gegenstand den Rahmen dieses Buches ohnehin überschreiten würde.

Im Nachstehenden soll nur beispielsweise und in Kürze gezeigt werden, in welcher Weise den vorangeführten Bedingnissen durch geeignete Constructionen Rechnung getragen werden kann.

Was den ökonomischen Betrieb anbelangt, steht unstreitig die Compound-Dampfmaschine, wie sie in vor-

züglich geeigneter Weise von der Maschinenbau-Actien-Gesellschaft (vormals B. Daněk & Co.) in Prag gebaut wird, in erster Reihe.

Es ist eine Maschine nach System Woolf, deren Kurbeln unter einem Winkel von 90⁰ verstellt sind, und bei welcher der Dampf, nachdem er seine Wirkung im kleinen Cylinder beendet hat und aus demselben austritt, durch einen Vorwärmer, Receiver genannt, im grossen Cylinder das zweitemal ausgenützt wird. Durch diese ökonomische Ausnützung des Dampfes wird unter Voraussetzung der richtigen Construction aller Details der Dampfverbrauch aufs Möglichste reducirt, und dadurch Heizmaterial namhaft erspart. Durch die Compound-Maschine wird auch gleichzeitig der Vortheil eines gleichmässigen Ganges erreicht, da die Kurbeln unter 90⁰ verstellt sind. Dadurch wird die schädliche Einwirkung der Kurbelstellung am todten Punkte vermieden, und muss nicht, wie dies bei eincylindrigen oder gewöhnlichen Woolf'schen Maschinen der Fall ist, ausschliesslich die in Bewegung befindliche Schwungradmasse diesem Uebelstande abhelfen. Dieser Vortheil wird übrigens auch durch Verwendung gewöhnlicher Zwillings-Maschinen, deren Kurbeln ebenso unter 90⁰ gestellt sind, in gleicher Weise erzielt, und müssen diese Maschinen unbedingt dort angewendet werden, wo zum Betrieb der Compound-Maschine das Condensations-Wasser mangelt. Ein Vorzug der letzteren ist es hauptsächlich, dass sie eine sehr veränderliche Kraftleistung gestattet; und man kann, um dieses Vortheils willen, die etwas complicirtere Construction wohl mit in den Kauf nehmen.

Man sollte trotz der grösseren Anlagekosten immer Zweicylinder-Maschinen für den Antrieb von Dynamo-Maschinen verwenden. Dieselben gewähren gegenüber eincylindrigen Maschinen noch den Vortheil, dass bei einer etwa vorkommenden, zeitweiligen namhaften Reduction des Kraftbedarfes durch geeignete Entkuppelung der reducirte Betrieb nur mit einem Cylinder stattfinden kann, ohne die ökonomische Leistung zu beeinträchtigen.

Einen besonderen Einfluss auf die möglichst constante Tourenzahl bei den immer vorkommenden variablen Widerständen übt die Steuerung, respective deren selbstthätige Regulirung aus.

Ob Schieber, Corliss, Ventil oder eine andere Steuerung für diesen Zweck die geeignetste ist, kann hier nicht erörtert werden, um so weniger, da dies noch lange eine Streitfrage unserer Maschinen-Ingenieure bleiben dürfte. Dagegen muss bei Anlage elektrischer Eisenbahnen die selbstthätige Regulirung der Steuerung an der Dampfmaschine entsprechend dem Widerstande als unerlässlich hingestellt werden, da bei den so oft variirenden Widerständen die Stellung des Expansions-Schiebers oder der Ventile für das entsprechende Füllungs-Verhältniss nicht durch den Maschinenwärter besorgt werden kann. Die selbstthätige Regulirung muss daher mechanisch vom Regulator direct auf die entsprechende Stellung der Expansions-Vorrichtung erfolgen. Hiebei ist ohne Rücksicht auf die Wahl der Construction zu bemerken, dass eine rasche Einwirkung des Regulators auf die Steuerung nothwendig ist, um die Variation der normalen Tourenzahl auf das Möglichste zu be-

schränken und die Bedingung einer gleichmässigen Geschwindigkeit, wie vorher bemerkt, zu erzielen.

Tafel II, Fig. 1 und 2, zeigt eine verticale Zwillings-Maschine, die für Anlagen zu elektro-dynamischen Maschinen vorzüglich geeignet sein dürfte, indem die Schwungmasse des Regulators direct in das Schwungrad verlegt ist, wodurch bei der grossen Umfangs-Geschwindigkeit (die Maschine macht 200 Touren pro Minute) die Fliehkraft der Schwungkugeln durch deren grosse achsiale Entfernung sehr bedeutend ist, und mithin eine grosse Energie des Regulators bewirkt wird. Durch eine geeignete Hebel-Uebersetzung sind die Regulatorkugeln mit dem Expansions-Schieber in Verbindung gebracht und veranlassen durch ihre grosse Energie ein rasches und sicheres Verstellen des Expansions-Schiebers, mithin die dem Widerstande, respective der constanten Tourenzahl entsprechende Füllung.

Es ist selbstverständlich, dass eine in dieser Art exact durchgeführte Construction auch auf die ökonomische Leistung von wesentlichem Einfluss ist, da der Dampfverbrauch dadurch stets im richtigen Verhältnisse mit der Leistung bleibt, und bei elektrischen Bahnen variirt ja diese Leistung ununterbrochen, und zwar mit der Anzahl der im Laufe befindlichen Wagen, mit dem Gewichte derselben und der Entfernung zwischen Receptor und Generator.

Ausser den gestellten Anforderungen auf ökonomischen Betrieb und Gleichmässigkeit des Ganges bleibt noch, wie erwähnt, eine möglichst grosse Tourenzahl wünschenswerth, um das Uebersetzungs-Verhältniss von der Dampfmaschine auf den Elektromotor thunlichst verringern zu können.

Der Geschwindigkeit der Dampfmaschinen mit linealer Bewegung ist nach den heutigen Erfahrungen eine Grenze gesetzt, und überschreitet selbe in der Regel nicht 2·5 Mtr. pro Secunde. Die in der Zeichnung Tafel II, Fig. 1 und 2 veranschaulichte Maschine besitzt eine Geschwindigkeit von 2·33 Mtr. per Secunde und macht 200 Touren per Minute. Diese Umdrehungszahl wurde durch einen möglichst geringen Hub erreicht, dadurch also der directe Antrieb ohne Zwischen-Transmission vom Schwungrade auf die Antriebscheibe einer dynamo-elektrischen Maschine ermöglicht, wenn nicht eine Zwischen-Transmission dadurch erforderlich wird, dass zwei oder mehr Elektromotoren, die wechselweise in Thätigkeit gesetzt werden sollen, durch die Maschine betrieben werden müssen. Unter allen Umständen, ob mit oder ohne Vorgelege gearbeitet wird, ist aber die grosse Tourenzahl vortheilhaft, da hiedurch immer das Uebersetzungs-Verhältniss und so auch die resultirende Ungleichförmigkeit im Gange des Elektromotors verringert wird. Im Uebrigen gelten auch für den hier ins Auge gefassten Zweck dieselben Bedingungen, die man bezüglich solider Construction und Ausführung auf Dampfmaschinen im Allgemeinen setzt.

Besonders hervorzuheben wäre nur, dass mit Rücksicht auf die grosse Tourenzahl eine besondere Sorgfalt auf die entsprechend solide Lagerung der rotirenden und gleitenden Bestandtheile zu nehmen ist, ebenso auf die richtige Vertheilung und Ausbalancirung der bewegten Massen. In erster Reihe wird beim Schwungrade, welches durch die an seinem Umfang vertheite Last bei einer Umfangs-Geschwindigkeit von ca. 22 Mtr. pro Secunde,

wie dies bei der abgebildeten Maschine der Fall ist, eine ganz gleichmässige Vertheilung der Massen gefordert. Das Schwungrad ist daher seiner ganzen Fläche nach abgedreht und besitzt statt 4 oder 6 Armen, wie sonst üblich, eine volle, innen und aussen abgedrehte Wand. Es dient gleichzeitig zur Uebertragung der Kraft mittelst Hanfseilen, zu welchem Zwecke 7 Seilrinnen am Umfange ausgedreht sind. Aus demselben Grunde sind auch, statt der Kurbeln, abgedrehte und ausbalancirte Kurbelscheiben in Anwendung gebracht. Bezüglich der anderen Bewegungs-Mechanismen ist auf solide und doch möglichst leichte Construction Bedacht zu nehmen und müssen insbesondere die Schwungradwelle, Kurbelzapfen und sämmtliche Zugstangen aus Stahl angefertigt sein.

Die in Rede stehende Maschine besitzt ferner zwei Cylinder von je 265 Mm. Diameter und 350 Mm. Hub und leistet bei 200 Touren per Minute, $^1/_8$ Cylinder-Füllung und 10 Atm. Dampfspannung, 60 Pferde effectiv.

Die gleiche Anordnung und Construction würde diese Maschine erhalten, wenn sie als Compound-Maschine hergestellt würde, und zwar erhält dann der Hochdruck-Cylinder 260 Mm., der Niederdruck-Cylinder 390 Mm. Diameter bei 350 Mm. Hub.

Die Dampfspannung beträgt dann 7 Atm. für eine Leistung von 60 Pferden bei zehnfacher Expansion, und sind die Kurbelzapfen, wie bei der Zwillings-Maschine, um $90^0$ verstellt.

Zur Condensation sind 30 Kb.-Mtr. Wasser per Stunde erforderlich und wird zwischen den beiden Cylindern der Receiver angebracht.

Bei dieser Maschine ist, wie es sich in der Regel zum Betriebe von Dynamo-Maschinen empfehlen dürfte, auf eine compendiöse Construction besonders Rücksicht genommen. Selbe ist durch den zweckentsprechenden kleinen Hub und durch die hohe Dampfspannung von 10 Atm., welche kleine Dampfcylinder-Durchmesser bedingt, erreicht. Dieser Anforderung entspricht auch die Wahl der verticalen Aufstellung, welche noch den grossen Vortheil hat, dass eine möglichst geringe Abnützung der inneren Cylinder-Flächen durch das Eigengewicht der Kolben und Kolbenstangen erzielt wird.

Unter den für elektrische Eisenbahnen geeigneten Dampfmotoren sind noch jene mit rotirenden Kolben zu erwähnen.

Es ist unleugbar, dass solche Maschinen durch die rotirende Welle, die ein directes Ankuppeln an die Welle des Elektromotors gestattet, durch die zulässige grosse Tourenzahl, sowie durch ihre compendiöse Construction sich in erster Reihe zum Betriebe von Dynamo-Maschinen eignen würden, wenn die bisher bekannten Constructionen nicht Mängel hätten, wodurch sie besonders für grössere Anlagen untauglich und unökonomisch werden.

Bei dem riesigen Fortschritte, den die Entwickelung der Mechanik nimmt, steht aber mit Sicherheit zu erwarten, dass auch diese Mängel recht bald behoben werden und dass die Rotations-Dampfmaschine mit jeder anderen in erfolgreiche Concurrenz wird treten können.

Vorläufig bedient man sich, und zwar mit zufriedenstellendem Erfolge der Brotherhood-Dreicylinder-Maschinen zum directen Angriffe bei der Rotation der Armaturen von Dynamo-Maschinen, und ist eine

derartige Anordnung in Fig. 82 dargestellt. Leider sind

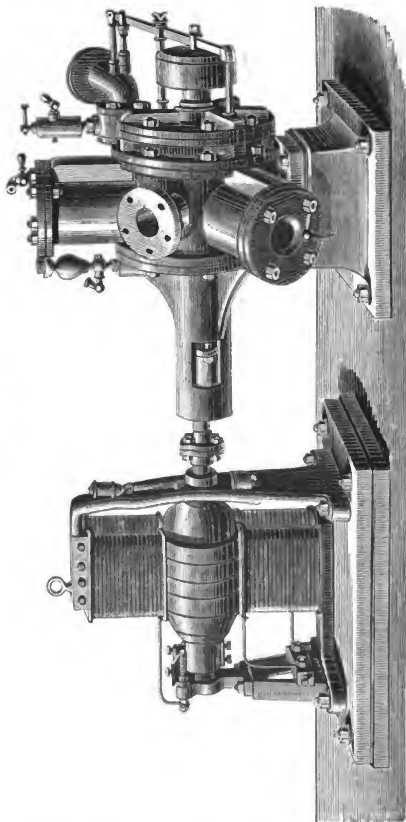


Fig. 82.

diese Maschinen ausserordentlich theuer, und dürfte die

Erhöhung der Preise für solche Maschinen, seit die Nachfrage nach denselben in Folge der ausgebreiteteren Verwendung von Dynamo-Maschinen eine lebhaftere wurde, auch vom geschäftlichen Standpunkte aus als unberechtigt bezeichnet werden können.

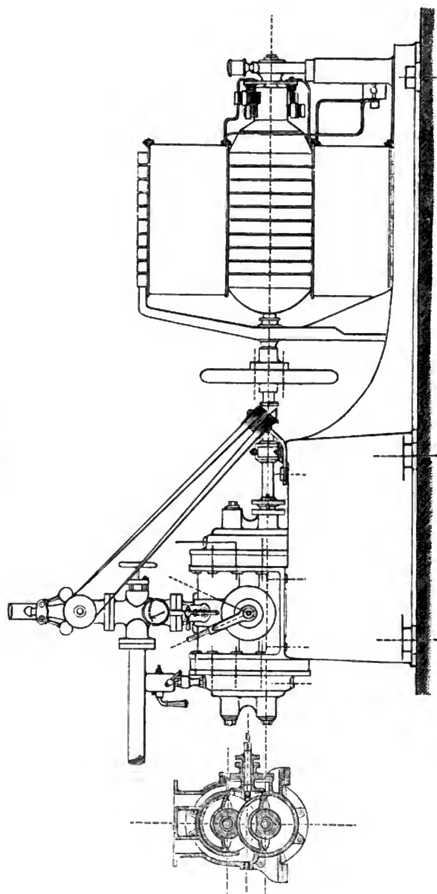
Nach einem ähnlichen Principe wie Brotherhood's Dreicylinder-Maschinen, scheinen Abraham's Viercylinder-Maschinen gebaut zu sein.

Siemens verwendet zum Betriebe seiner Generatoren Rotations-Maschinen, System Dolgoruki. Aber diese Motoren, deren Darstellung in der Fig. 83 gegeben ist, bewähren sich nicht in der Weise, wie dies vielseitig erwartet wurde; der Grund hierfür dürfte in der ausserordentlich complicirten Construction gelegen sein, und zeigt die Figur, dass dieser Apparat eher ein Präcisions-Instrument, als ein für constante und mächtige Leistungen tauglicher Dampfapparat ist.

Einer allgemeinen Anwendung aller der aufgezählten Rotations-Maschinen stehen insbesondere die allzu hohen Anschaffungs-Kosten im Wege, so kostet z. B. eine Brotherhood-Dreicylinder-Maschine für 1 H. P. loco Paris Frcs. 1200, eine Viercylinder-Maschine dürfte auch nicht billiger zu stehen kommen, und eine Dolgoruki-Maschine wurde seinerzeit von der Maschinenbau-Actien-Gesellschaft in Prag für 2 H. P. um Mk. 1600 gebaut.

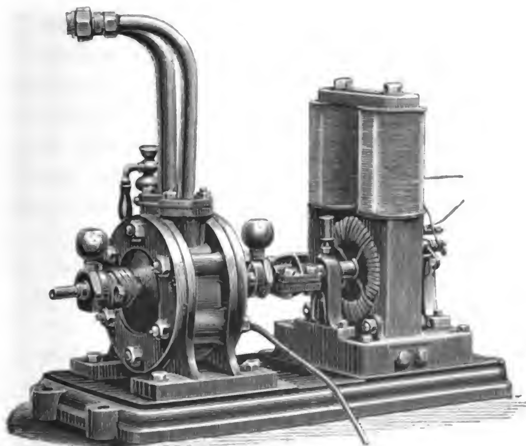
Fig. 84 zeigt einen Motor, an dessen Entstehung und Construction der Verfasser Theil zu nehmen Gelegenheit hatte. Die noch nicht abgeschlossenen Patent-Erwerbungen gestatten leider keine ausführliche Detail-Beschreibung und muss es hier wohl genügen, wenn derselbe in seinen äusseren Dimensionen und Leistungen

Fig. 83.



beschrieben wird. Dieser Motor besteht aus einem Gehäuse, d. i. einem ringförmigen Körper mit zwei Deckeln, durch welch' letztere die rotirende Achse in Stopfbüchsen läuft. — Im Innern dieses Cylinders befinden sich nur

Fig. 84.



zwei rotirende Theile, von denen wieder nur einer der eventuellen Abnützung ausgesetzt ist.

Das Gehäuse hat oben zwei Oeffnungen, an welche das Ein- und Ausströmungsrohr des Dampfes angebracht sind.

Zum Schmieren sind sowohl an beiden Stopfbüchsen, sowie am Gehäuse zum Schmieren der Innenfläche desselben, Schmiervasen angebracht. Bei einem nach diesem

Principe angefertigten und vorzüglich functionirenden Apparat, welcher etwas über 2 H. P. effectiv leistet, haben die inneren lichten Dimensionen des Gehäuses 160 Mm. im Durchmesser und 100 Mm. in der Länge.

Dieser Motor macht bei directer Kuppelung seiner Achse mit jener der Dynamo-Maschine 1200 Touren in der Minute mit erfreulicher Regelmässigkeit. Es empfiehlt sich aber, wie Experimente gezeigt haben, diesen Motor aus ökonomischen Gründen mit einer Transmission (2 : 1 oder 3 : 1) auf die Dynamo-Maschine wirken zu lassen, wodurch bei unwesentlicher Mehr-Inanspruchnahme des gebotenen Raumes der Dampfverbrauch auf ein Minimum herabgedrückt wird, und die rotirenden Theile im Motor weniger abgenützt und daher bei gleicher Leistung mehr geschont werden. Eine Expansions-Vorrichtung ist für kleinere Motoren (2—5 H. P.) nicht nöthig, eine solche ist erst für Motoren von 5—15 H. P. in Aussicht genommen.

Die Preise für solche Motoren sind im Verhältnisse zu den früher aufgezählten ausserordentlich gering. Ein Motor für 2 H. P. kostet loco Wien ca. Mk. 800—900. Für Motoren zu erhöhterer Leistung wächst der Preis innerhalb gewisser Grenzen (2—5 H. P. 6—16 H. P.) nur sehr mässig.

Zur Vervollständigung aller dieser Betrachtungen sei noch Einiges über Dampfkessel und die Herstellung der Transmission erwähnt.

Ebenso wichtig, wie die geeignete Wahl der Construction von Dampfmaschinen ist auch jene der Dampfkessel. Es können hier ebenfalls nicht alle Systeme besprochen und verglichen werden; es muss genügen, nur

durch ein Beispiel zu zeigen, in welcher Weise den Anforderungen auf Ersparniss von Brennmaterial durch richtige Ausnützung und Verbrennung der Rauchgase, auf gleichmässige Dampf-Entwickelung, auf Erzeugung von trockenem Dampf, auf compendiöse Form und leichte Zugänglichkeit des Kessels wegen Reinigung desselben entsprochen werden kann.

Auf Tafel II., Fig. 3—6, sind zwei Kessel-Systeme veranschaulicht, die den gestellten Bedingnissen gut entsprechen und je nach der Art des zur Verwendung kommenden Speisewassers (bezüglich dessen Kesselsteingehaltes) gewählt werden müssen.

Beide Dampfkessel sind mit Ten Brink-Feuerung versehen, die den Vortheil einer energischen und rauchfreien Verbrennung des Heizmateriales gewährt, und mithin eine gute Ausnützung der Wärme und die Bedienung der Feuerung wesentlich erleichtert, weil das Aufwerfen der Kohle nicht mittelst Schaufel, sondern durch ein Füllbecken geschieht. Der Röhrenkessel mit einem Siederohr ist nur dann mit Vortheil anzuwenden, wenn das Speisewasser wenig kesselsteinbildende Bestandtheile besitzt, weil das Reinigen des Rohres schwerer als beim Siederohr-Kessel zu bewerkstelligen ist und daher ein Durchbrennen des Rohres vorkommen kann. Der hier abgebildete Röhrenkessel besitzt einen Oberkessel von 1·300 Mtr. Diameter und 4·700 Mtr. Länge mit 70 gezogenen durchgehenden Röhren von 70 Mm. Diameter und einem darunter liegenden Vorwärmer von 600 Mm. Diameter zu 4 Mtr. Länge, der durch einen Stutzen mit dem Oberkessel verbunden ist. Die durch die Ten Brink-Feuerung erzeugten heissen und rauchfreien Gase durchstreichen vorerst die 70 Rohre,

nehmen durch einen Rauchcanal um den Mantel des Kessels ihren Rückweg und gelangen, nachdem sie die Wandungen des Vorwärmers umspielt haben, durch den Fuchs in den Schornstein.

Dieser Kessel hat den Vortheil einer raschen Dampf-Entwickelung bei guter Ausnützung der heissen Gase und bedarf zu seiner Aufstellung einen verhältnissmässig geringen Raum.

Der Siederohr-Kessel besteht aus drei Oberkesseln von je 800 Mm. Diameter und 6·500 Mtr. Länge, die oben durch Stutzen mit einem quer liegenden Dampfsammler von 800 Mm. Diameter und 2·700 Mtr. Länge verbunden sind.

Unter dem Oberkessel und mit diesem durch Stutzen verbunden befinden sich 3 Paar Siederohre von 650 Mm. Diameter und 5·000 Mtr. Länge. Die Heizgase umspielen vorerst die Oberkessel und fallen dann in den unteren Raum, wo sie ihre noch intensive Wärme an die oberen und unteren Siederohre abgeben und dann aufs Beste ausgenützt durch den Fuchs in die Esse gelangen.

Der Dampfsammler hat den Vortheil, dass dem Dampf ein grösserer Raum gewährt wird, daher eine variable Abnahme von Dampf auf die gleichmässige Dampf-Erzeugung von geringem Einfluss ist, und auch das Mitreissen von Wassertheilchen in den Dampf-Cylinder verhindert wird.

Jeder der beiden Dampfkessel besitzt eine Heizfläche von 85 Qu.-Mtr.; sie sind für eine Spannung von 10 Atm. construirt und lassen einen Nutzeffect von 75—85 Procent erreichen.

Was endlich die Transmission anbelangt, wenn der Antrieb des Elektromotors nicht direct durchs Schwungrad vermittelt werden kann, so ist, wie bei der Construction der Dampfmaschine, neben einer soliden Befestigung der Lagerstühle, auf grosse Lagerflächen für die Transmissions-Welle und auf eine gleichmässige Vertheilung der rotirenden Massen, wegen der grossen Tourenzahlen, welche derartige Anlagen erheischen, besonders zu achten. Ersteres wird durch die Auflage der Welle in langen Lagerschalen erzielt und letzteres dadurch, dass die gusseisernen Riemenscheiben möglichst leicht und sorgfältig ausbalancirt erzeugt werden.

Am geeignetsten könnte diesen Bedingungen entsprochen werden, wenn statt der allgemein gebräuchlichen gusseisernen Riemenscheiben solche aus Schmiedeeisen verwendet würden.

Durch Wegfall der Arme, die durch volle Blechscheiben von geringer Stärke ersetzt werden könnten, durch die ebenfalls sehr geringe Fleischstärke des schmiedeeisernen Riemenscheiben-Kranzes wäre eine solide, möglichst leichte und gut ausbalancirte Transmission hergestellt, die, wenn auch bedeutend theurer als jene mit gusseisernen Riemenscheiben doch im vorliegenden Falle gewiss am besten entsprechen würde.

Die Antriebscheibe der Transmission muss selbstverständlich entsprechend dem Schwungrade der hier ins Auge gefassten Dampfmaschine für Seilbetrieb eingerichtet und mit Riemen versehen sein.

Im Vorstehenden sind die wichtigsten Andeutungen für den hier verfolgten praktischen Zweck gegeben, in-

soferne nicht an Stelle der Dampfkraft die viel billigere Wasserkraft treten kann.

Der Grund, dass bisher die bedeutenden Wasserkräfte so spärlich gegenüber der Dampfkraft in Verwendung kommen, liegt vorerst in den variablen Wasserständen der meisten Flüsse und in der meist bedeutenden Entfernung geeigneter hydraulischer Kräfte von grossen Städten und Verkehrswegen etc., wo die Ansprüche auf constanten und billigen Betrieb am grössten sind.

Es ist unzweifelhaft, dass durch Verwendung der Elektricität als transmittirender Kraft in nicht mehr zu ferner Zeit der Benützung unserer Wasserkräfte die gebührende Rücksicht zu Theil werden wird.

Ist einmal dieses Problem günstig gelöst, dann sind die zu Millionen gebundenen hydraulischen Kräfte in unsere Nähe gerückt, um nutzbar an Ort und Stelle verwendet werden zu können.

Um nur durch einige Beispiele, die den Angaben des Herrn Ingenieurs G. Meissner entnommen sind, zu erläutern, welche Bedeutung der elektrischen Transmittirung von Kräften auf grosse Entfernungen beizumessen ist, sei hier angeführt, dass eine Betriebskraft von 100 Atm. Stärke mittelst Dampf jährlich für Unterhaltung und Bedienung derselben, mit Rücksicht auf Verzinsung und Amortisation des Anlagecapitales, 8000 bis 10.000 fl. (16.000 bis 20.000 Mark) bedarf. Welche Summe könnte da nicht durch Ausnützung einer guten Wasserkraft, durch die Anlage von Wasserrädern, Turbinen oder Wassersäulen-Maschinen oder sonstigen hydraulischen Motoren, deren Betriebskosten $^{3}/_{5}$ bis $^{9}/_{10}$ weniger betragen als jene für Dampfmotoren, erspart werden?

In welchem Maasse die unerschöpfliche Kraftquelle des Wassers auf unserer Erde vertheilt ist, zeigt sich allein z. B. beim Niagara-Wasserfall. Es stürzen dort 30.000 Kubik-Mtr. Wasser pro Secunde von einer Höhe von 50 Mtr., was, durch hydraulische Motoren ausgenützt, einer effectiven Kraftleistung von circa 15 Millionen Pferdekräften entspricht, und bei der Annahme, dass zur Entwickelung einer Pferdekraft pro Stunde nur 1·5 Kgr. Kohlen erforderlich wären, resultirt per einen Tag zu 24 Stunden gerechnet ein Kohlenverbrauch von 5400 Tonnen oder per Jahr circa 194 Millionen Tonnen.

Es ist daher in dieser Wasserkraft allein ein Effect gebunden, der ungefähr gleich ist einem Fünftel der auf unserer Erde verwendeten Dampfkraft von circa 80 Millionen Pferden.

Bei der Annahme, dass eine Dampf-Pferdekraft = 75 Kgr.-Mtr. per Secunde, 10 Menschenkräften gleich kommt, würden 800 Millionen Menschen nöthig sein, um die Kraft sämmtlicher Dampfmaschinen zu ersetzen.

Der preussische Regierungs-Statistiker Engel schätzt den jährlichen Productionswerth eines Arbeiters auf 3600 Mk. und repräsentirt daher die sämmtliche Dampfbetriebskraft der Erde einen volkswirthschaftlichen Werth von 800 Millionen × 3600 = 2,800.000 Millionen Mark per Jahr.

Rechnet man die jährlichen Erzeugungskosten einer Dampf-Pferdekraft durchschnittlich auf 300 Mk., so ist die Gesammt-Erzeugung 80 Millionen × 300 = 24.000 Millionen Mark, d. h. sie repräsentirt den

$$\frac{2,880.000}{24.000} = \frac{1}{120}$$

Theil des wirthschaftlichen Werthes.

Nimmt man an, dass durch die Entwickelung der rationellen Kraftübertragung auf weite Distanzen der vierte Theil aller Dampfkräfte durch Wasserkräfte ersetzt werden könnte, so könnte hierdurch allein der Industrie eine jährliche Summe von 5000 Millionen Mark erspart, beziehungsweise hiefür neue Kraft zugeführt werden.

Durch diese Beispiele sollte nur in weiten Grenzen gezeigt werden, wie wichtig die rationelle Ausnützung der Wasserkräfte zur Uebertragung der Energie auf grosse Distanzen wäre und zu welcher Blüthe unsere mechanische Industrie noch gelangen könnte, wenn diese fortschreitend mit der raschen Entwickelung der Elektrotechnik auch jene der hydraulischen Motoren so fördern würde, dass die oben entwickelten Ideale ihrer Verwirklichung zugeführt werden könnten; dass einzelne Versuche, Wasserkräfte zum Betriebe von Dynamo-Maschinen dienstbar zu machen, missglückt sind, darf nicht entmuthigen.

Diesen Versuchen können zwei Vorwürfe gemacht werden:

1. wurden sie von Elektrikern und nicht von erfahrenen Mechanikern eingeleitet und angegeben;

2. wollte man auf diese Weise billige primäre Kraft für Lichtmaschinen, wo eine absolut und andauernd constante Winkelgeschwindigkeit unerlässliche Bedingung ist, beschaffen.

Wenn sich einmal die Mechaniker ernstlich mit der Frage der Verwerthung hydraulischer Kräfte zum Betriebe elektro-dynamischer Maschinen beschäftigen werden, wenn ferner die Ansprüche, die man an Wasser-Motoren

mit Recht erheben kann, auf das richtige Maass reducirt worden sind, dann kann man eine gedeihliche Entwickelung in der Verwerthung heute noch unbenützter Wasserkräfte mit Sicherheit erwarten.

Hätte man die enorme Raschheit in der Entwickelung der Elektrotechnik vor einigen Jahren schon voraussehen können, so wäre bei der Anlage jener grossartigen Wasserleitungen, die gerade in den letzten Jahrzehnten in vielen grossen Städten mit bedeutenden Kosten gebaut wurden, gewiss auch auf die Abgabe von Nutzwasser reflectirt worden, wodurch die Verwendung desselben zum Betriebe elektro-dynamischer Maschinen zur elektrischen Beleuchtung, zur Kraftübertragung etc. auf verschiedene Art ermöglicht, und dadurch die billige Verwerthung elektrischer Kräfte wesentlich gefördert worden wäre. An guten Constructionen kleiner Wasser-Motoren ist heute kein Mangel mehr. Der Motor System König (siehe Fig. 84) eignet sich für Wasserbetrieb ganz vortrefflich.

Nehmen wir hiefür ein praktisches Beispiel.

In der Wiener Hochquellen-Wasserleitung herrscht im Mittel ein Druck von 4 Atmosphären. Dies genügt, um in Wohnungen kleine, mit Dynamo-Maschinen zusammengekuppelte Wasser-Motoren zu betreiben, und so die nöthige elektrische Beleuchtung zu beschaffen.

Derartige Arrangements können zur Bedienung von Aufzügen und zur Leistung verschiedener Arbeiten benützt werden, da man nach den Principien der elektrischen Kraftübertragung hierbei nicht an den Aufstellungs-Ort der Maschine, beziehungsweise der Transmissionen gebunden ist, und sich daher mit der Kraft

freier bewegen kann. Leider ist der Preis des Wassers für derartige Zwecke meistens viel zu hoch, abgesehen davon, dass dermalen auch eine solche Verwendung des Wassers bei Stadt-Leitungen gewöhnlich nicht gestattet wird. —

Erfreulicherweise sind für Wien und andere grosse Städte die Anlagen eigener Leitungen für Nutzwasser ziemlich gesichert, und darf von denselben eine weitgehende Anwendung zur Elektricitäts-Erregung erwartet werden.

---

# IX.

# Die Leitung der Elektricität zum Zwecke des elektrischen Bahnbetriebes.

Die Laufschienen als Elektricitäts-Leitung. — Die Schienen-Isolirung. — Luftleitungen mit Contactwagen. — Material für derartige Leitungen. — Die Träger der Leitung. — Die Contactwagen. — Andere Leitungs-Systeme für elektrische Eisenbahnen. — Formeln für Leitungsdurchhang, — für die Spannung der Drähte.

E. Japing hat im II. Bande der »Elektro-techn. Bibl.«, Abschnitt VI und VII, die elektrischen Leitungen und die Gesetze für Fortleitung und Theilung des elektrischen Stromes sehr ausführlich und sehr erschöpfend behandelt, und muss die Kenntniss jener Erörterungen hier vorausgesetzt werden.

Es erübrigt nur noch zu besprechen, wie jene Gesetze zum Zwecke des elektrischen Bahnbetriebes am zweckmässigsten anzuwenden sind. Bei den ersten elek-

trischen Eisenbahnen benützte man — was sehr naheliegend war — die Laufschienen zur Leitung des elektrischen Stromes, und zwar derart, dass der eine Schienenstrang mit der positiven, der andere mit der negativen Polklemme des Generators verbunden wurde.

Zwei von einander und von allen übrigen Eisentheilen des Wagens isolirte Wagenräder vermittelten dann die weitere Leitung des elektrischen Stromes zu der am Wagen befestigten und als Receptor dienenden Dynamo-Maschine, durch welche der Schluss der Leitung vom Generator hergestellt wird. Am Wagen sind übrigens eigene Contact-Hersteller angebracht, die es ermöglichen, die Leitung im Wagen selbst beliebig zu schliessen, wenn gefahren werden soll, zu öffnen, wenn man den Wagen halten lassen will, und die äussere Leitung zu öffnen und gleichzeitig die Leitung zum Receptor kurz zu schliessen, wenn man in ausserordentlichen Fällen den Receptor als elektrische Bremse zu verwenden beabsichtigt, was man aber möglichst vermeiden sollte, da dadurch die Maschinen ausserordentlich stark leiden. Von der Anordnung der Leitungen in den Waggons handelt übrigens der X. Abschnitt.

Es sollen im Nachfolgenden die Vortheile und Nachtheile der Schienen-Benützung zur elektrischen Leitung erörtert werden, man hat sich dabei aber immer vor Augen zu halten, dass die Leitung der Elektricität zum elektrischen Bahnbetriebe als ein ungelöstes Problem bezeichnet werden muss, und dass auch Siemens und Halske über die beste Art, derartige Leitungen auszuführen, noch kein definitives Endurtheil abgegeben haben, und ist die Ergründung dieses Problems als eine eventuell dank-

bare Arbeit zu bezeichnen. Die Verwendung der Laufschienen einer Eisenbahn als Elektricitäts-Leitung ist überall zu empfehlen, wo es sich arrangiren lässt, dass der Bahnkörper in seiner ganzen Länge dem Publikum derart unzugänglich gemacht wird, dass dasselbe in keine unmittelbare Berührung mit den Schienen kommen kann. Bei Hochbahnen also, oder dort, wo die Bahn eingefriedet werden kann, wird sich diese Art der Elektricitäts-Leitung immer vortheilhaft erweisen.

Wenn auch die Spannung der Elektricität, die zum Bahnbetriebe verwendet wird, nie besonders hoch — bei der Lichterfelder Eisenbahn angeblich 90 Volts — genommen wird, so kann doch durch das Entstehen von Extraströmen den etwa getroffenen Menschen und Thieren ein Nachtheil erwachsen; insbesondere bei Pferden, die auf die Schienen treten und von einem Extrastrome getroffen werden, ist die Gefahr des Scheuwerdens sehr naheliegend.

Die Bahnschienen haben einen grossen Querschnitt und werden daher dem elektrischen Strome wenig Widerstand bieten, dagegen haben sie aber wieder viele Kanten und Kerbe, wodurch Spannungs-Differenzen im Querschnitte und daher Elektricitäts-Verluste veranlasst werden, die sich umsomehr steigern, als die Isolirung derselben eine mangelhafte ist. Die Isolirung der Schienen aber vollständig durchzuführen, dürfte ganz besondere Schwierigkeiten bieten.

Bei der schon mehrerwähnten Lichterfelder Eisenbahn sollen zwar die Schienen nicht besonders isolirt worden sein, und es ist trotzdem ein regelmässiger Verkehr, selbst bei feuchter Witterung, möglich; immerhin

wird man aber bei einer derartigen Schienenverwendung an eine Isolirung denken müssen. Betreffs dieser wird vorerst das Schienenprofil, das Gewicht der Schienen per Meter, die Unterlagen der Schienen und ferner das Gewicht der Lasten, welche über die Schienen rollen, zu berücksichtigen sein.

Dem Verfasser liegt das Project einer 8 Km. langen elektrischen Eisenbahn vor, bei welcher Vignoles-Schienen (12 Kgr. per Meter) zur Verwendung kommen sollen; die Wagen sind sehr leicht gebaut, da sie nur für 12 Sitzplätze berechnet sind und die Bahn nur 1 Meter Spurweite haben wird. Der Bahnkörper ist gegen das Betreten ausreichend geschützt, und können daher die Schienen zur Elektricitäts-Leitung verwendet werden.

Die beiden Schienenstränge sollen auf weiche Langschwellen gelegt werden, und ist die directe Berührung zwischen Schienen und Schwellen durch Zwischenlagen von Guttapercha-Leinwand vermieden. Letztere ist genau so stark projectirt, dass ein Beiseitedrücken der Guttaperchamasse unwahrscheinlich ist, selbst wenn die darüberrollenden Wagen sehr stark belastet sein sollten. Auch die directe Berührung der Schienennägel mit den Schienen ist durch isolirende Zwischenlagen verhindert.

Es ist nicht zu leugnen, dass diese Art der Schienen-Isolirung, wenn sie exact ausgeführt wird, ziemlich hohe Kosten verursacht; diese werden aber doch nie so hoch sein, als jene für eine eigene später zu besprechende Luftleitung, und sie wird zudem in einer Weise functioniren, dass durch die erzielte möglichste Vermeidung von Stromverlusten beim Betriebe Ersparnisse an Kraft erzielt werden können, welche die aufgewendeten Kosten

vollauf rechtfertigen. Es sei noch bemerkt, dass der Stromübergang von einer Schiene zur anderen anschliessenden ausser den Laschen noch durch eigene kurze Kabelverbindungen ermöglicht werden soll.

Die Zuführungen der Leitung zu den Schienen vom Generator werden durch unterirdisch gelegte starke Kabel bewirkt.

Noch einfacher wird eine derartige Leitung auf diese Weise zu isoliren sein, wenn man eines der in Fig. 15—21 (Seite 39 und 40) dargestellten Schienenprofile wählt, weil dieselben mit versenkten Kopfschrauben, die leichter zu isoliren sind, befestigt werden. Auch für diesen Fall sind Zwischenlagen von vierfacher Guttapercha-Leinwand oder isolirende Asphaltschichten zwischen Schienen und Schwellen angezeigt. Die Fahrt auf derart isolirten Schienen wird eine ausserordentlich ruhige und angenehme sein, das Legen der Schienen muss mit Rücksicht darauf allerdings sehr exact ausgeführt und auf die Erhaltung der richtigen Spurweite viel Sorgfalt verwendet werden; letzteres wird übrigens leicht, weil selbst beim lebhaftesten Verkehre die Schienen und überhaupt der Oberbau wenig in Anspruch genommen werden, da die Schienen nie gleichzeitig von schweren bewegten Lasten gedrückt sind.

Noch einfacher wird die Isolirung der Schienen, wenn man sich für das in Fig. 25 (Seite 43) angedeutete Stuhlschienen-System entscheidet. In diesem Falle sind die Schienen nur auf den Stühlen aufzulegen, im Uebrigen aber mit dem Unterbaue in keiner Berührung. Um Durchbiegungen der Schienen zu vermeiden, genügt es bei elektrischen Bahnen, selbst wenn stark belastete Waggons

(mit 46 Sitzplätzen) auf diesen Schienen rollen, für eine 7·5 Mtr. lange Schiene 5—6 Stück Stühle zu rechnen. Dadurch wird die Anlage allerdings etwas vertheuert, die Isolirung der Stühle aber, um die es sich jetzt allein handelt, wird bedeutend weniger Schwierigkeiten verursachen, als die Isolirung einer ganzen Schiene. Man kann diese Stühle entweder auch auf Guttapercha-Leinwand legen, oder aber Hykoriholz, das in Amerika vielfach zur Isolirung von Bahnschienen gebraucht wird, anwenden. Eine vollkommene Isolirung könnte man erzielen, wenn man, wie Siemens proponirt, diese Stühle aus Hartglas fabricirt. Braucht man eine grössere Ausgabe nicht zu scheuen, so kann man zu diesen Isolirungen sogar eine geringere Gattung Hartgummi verwenden, umsomehr, als derselbe heutzutage nicht theuer ist und in grossartigen Mengen fabricirt wird.

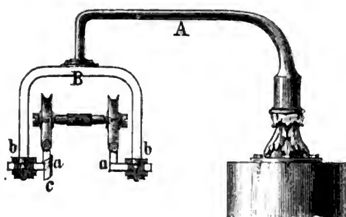
Bei der Verwendung der Laufschienen zur Elektricitäts-Leitung müssen jene Wagenräder, die nicht an der Leitung participiren, von der Achse, beziehungsweise von allen zusammenhängenden grösseren Metallmassen bezüglich ihrer Leitungsfähigkeit isolirt sein, um Nebenschlüsse zu verhindern.

Bezüglich der Widerstände der Eisenbahnschienen sind noch keine genauen Daten veröffentlicht worden und theoretische Berechnungen haben in diesem Falle deswegen keinen Werth, weil die dazu vorhandenen Berechnungs-Grundlagen nur für cylindrische, höchstens prismatische Körper Giltigkeit haben. Der Verfasser hat übrigens derartige Widerstands-Messungen eingeleitet, kann aber leider die bezüglichen Experimente noch nicht als abgeschlossen betrachten. Sobald die Verwen-

dung der Accumulatoren zum elektrischen Bahnbetriebe ausgebreitetere Anwendung finden wird, so entfallen ja alle derartigen Leitungen, und würde dies ein grosser Vortheil sein, denn wenn etwas gegen den Betrieb der elektrischen Eisenbahn eingewendet werden kann, so ist es die Schwierigkeit der Elektricitäts-Leitung und die auf jeden Fall damit verbundenen Unannehmlichkeiten und Hindernisse. Nach dem Vorgesagten ist die Verwendung der Schienen zur Elektricitäts-Leitung bei Hochbahnen und eingefriedeten Bahnen nicht nur möglich, sondern auch empfehlenswerth; in allen anderen Fällen aber wird man, Maschinen- und nicht etwa Accumulatoren-Betrieb vorausgesetzt, die treibende Kraft dem rollenden Fahrzeuge mittelst einer Luftleitung zuführen, von welch' letzterer die Elektricität durch einen mehrräderigen Contactwagen und mittelst eines Kabels zu dem Receptor am Wagen geleitet wird. Auch diese Anordnung bietet ihre besonderen Schwierigkeiten. Vor Allem sind da folgende Rücksichten zu nehmen: Zu einer solchen Leitung muss man ein Material von möglichst geringem specifischen Leitungswiderstande wählen, dieses Material soll zudem eine sehr geringe Geneigtheit zur Oxydation zeigen, der Ausdehnungs-Coëfficient in den verschiedenen Temperaturen sei ein minimer. Die erste der hier aufgezählten Bedingungen ist aus dem über die elektrische Kraftübertragung Gesagten erklärlich; die Unannehmlichkeiten bei starker Oxydation der Leitung werden klar, wenn man bedenkt, dass von jedem Theile der Leitung die Elektricität durch den darüber rollenden Contactwagen abgeleitet wird, daher ein guter, möglichst wenig Widerstand verursachender Contact zwischen der Leitung in ihrer ganzen Länge und dem Contactwagen

ermöglicht sein muss; ist ferner die Ausdehnung der Leitung bei Temperaturerhöhungen eine grössere, so werden sich auch Ungleichmässigkeiten in der Ausdehnung einzelner Leitungstheile nicht beseitigen lassen, dadurch erhält man nicht nur störende Aushängungen der Drähte, sondern es können auch Unterbrechungen im Contact während des Darüberrollens des Contactwagens veranlasst werden, wodurch einerseits Funkenbildung bei der Ableitung, anderseits Unregelmässigkeiten in der Fahr-

Fig. 85.




geschwindigkeit und schädliche Rückwirkungen auf die Maschinen nicht zu vermeiden sind. Eine gute Leitung herzustellen, bei der alle die aufgezählten Uebelstände hintangehalten sind, ist bis heute noch nicht gelungen; diese Frage steht entschieden noch im Standpunkte des Experimentes.

Siemens hat zwar zu derartigen Leitungen durchaus Kupfer verwendet, es dürfte sich aber Weiller's Phosphorbronze und Weiller's Silicium-Kupferdraht deswegen mehr empfehlen, weil die Beimischungen zum Kupfer die Oxydations-Fähigkeit solcher Leitungen ausserordentlich verringern, wenn auch leider der Widerstand

in Folge dessen — in Weiller's Drähten sollen übrigens 82% Kupfer enthalten sein — nicht unwesentlich steigt, wogegen allerdings wieder die Bruchfestigkeit gehoben wird, was insbesondere bei elektrischen Bahnen, wo die Leitung auch mechanischen Einwirkungen ausgesetzt ist, ein nicht zu unterschätzender Vortheil sein dürfte.

Nachstehende Tabelle bietet eine Uebersicht über die ziffermässigen Verhältnisse des Vorgesagten:

| Drahtdurchmesser | Widerstand | | | Bruchfestigkeit | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | des reinen Kupfers | der Phosphorbronze | des Silicium-Kupfers | des reinen Kupfers | der Phosphorbronze | des Silicium-Kupfers |
| in Mm. | in Ohms | | | in Kilogramm | | |
| 1 | 23·3 | 76·4 | 38·1 | 21·1 | 70·2 | 55·6 |
| 1·25 | 14·8 | 41·6 | 22·2 | 34 | 112 | 87 |
| 2 | 5·8 | 19·3 | 9·5 | 88 | 282 | 219 |
| 2·5 | 3·7 | 10·2 | 5·1 | 137 | 441 | 343 |
| 3 | 2·5 | 8·4 | 4·2 | 197 | 636 | 494 |
| 4 | 1·5 | 5·6 | 2·4 | 352 | 1131 | 879 |
| 5 | 0·9 | 3·0 | 1·5 | 549 | 1766 | 1374 |

Obwohl man auch bei Leitungen zu Elektrodynamo-Maschinen und beim elektrischen Bahnbetriebe statt der Rückleitung die Erde einschalten könnte, so hat man bis jetzt doch immer, wenn mit sehr starken Strömen gearbeitet wurde, doppelte Drähte mit Ausschluss jeder Erdleitung verwendet, und auch bei der elektrischen Bahn wird eine doppelte Leitung, eine vom positiven, die andere vom negativen Pol des Generators ausgehend, zu empfehlen sein.

Der Verfasser hat nach einem ausgearbeiteten Projecte für eine Strassenbahn, für welche die Anlage der

Fig. 86.

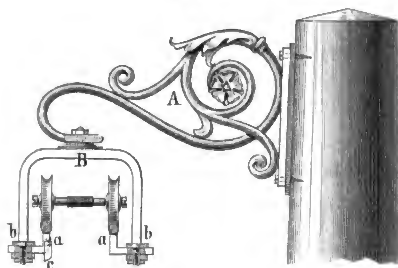



Fig. 88.

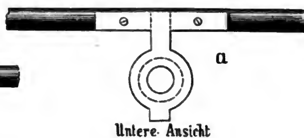
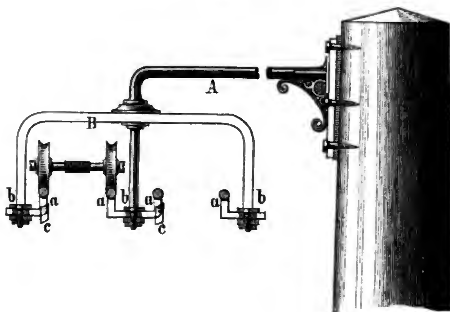



Fig. 87.




Fig. 89.



Luftleitung leicht möglich war, nachfolgend beschriebene Leitung beabsichtigt und Proben angestellt, die einen befriedigenden Erfolg hatten.

Zur Leitung sollten 6·5 Mm. dicke Siliciumbronzedrähte verwendet werden, deren Widerstand mit 0·47 Ohms per 1000 Mtr. ermittelt wurde. Mit diesem Drahte wären Spannungen bis zu 20 Mtr. möglich, es war jedoch projectirt, die Säulen hiefür nur 15 Mtr. von einander entfernt aufzustellen.

Die Fig. 85—89 zeigen die Aufhängevorrichtungen, bei welchen darauf Rücksicht genommen werden musste, dass die über die Drähte rollenden Contactwagen bei den Aufhängevorrichtungen keine Hindernisse treffen. Auf den Säulen werden die gusseisernen Träger aufgeschraubt, und wenn man sehr vorsorglich arbeiten will, durch eine Zwischenlage aus Guttapercha-Leinwand die directe Berührung zwischen Säulen und Träger vermieden, was bei Fehlern in der Leitungs-Isolirung von ausserordentlichem Nutzen sein wird.

Die Drahtstützen *a* sind durch Hartgummi oder Hartglas *b* vom Träger vollkommen isolirt, wie dies aus den Figuren wohl leicht ersichtlich sein dürfte. Die Drähte sind nun mit versenkten Kopfschrauben auf *a* befestigt, und wird es gut sein diesen Drahtstützen die gleiche Dicke wie den Leitungsdrähten zu geben, dieselben aber recht lang zu machen, um den Drähten eine tüchtige Unterlage zu bieten; es wird sich ferner wegen der leichteren Bewegung der Contactwagen eine sattelförmige Wölbung der Drahtstützen empfehlen.

Will man den Schutz der Leitungen gegen Erdschlüsse noch weiter treiben, und bei so starken elek-

trischen Strömen wird man des Guten wohl kaum zu viel thun können, so lässt sich auch noch der Bügel *B* vom Arme *A* an der Befestigungsstelle ohne Schwierigkeiten, mit unwesentlicher Kosten-Vermehrung durch Hartgummi-Blättchen und Hülsen isoliren. Die an der Bahnseite gelegenen Stützen *a* sind beiderseits mit auswärts gebogenen und vorgreifenden Metallblechen *c* ausgestattet, welche dazu bestimmt sind, die Kabel, durch welche die Contactwagen gezogen werden, aufzufangen und deren Durchgleiten zu erleichtern.

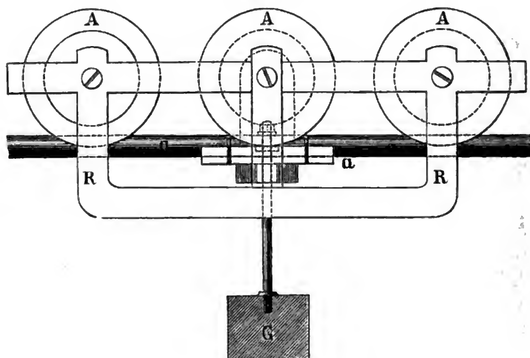
Fig. 89 zeigt einen Träger für eine zweigeleisige Bahn, wobei angenommen ist, dass die beiden inneren Stützen *a* für Drähte zu gleichen Polen dienen, und es daher genügt, wenn nur die beiden anderen Drähte von den inneren und von einander isolirt sind.

Die Fig. 90 und 91 zeigen den für die vorbeschriebenen Leitungen passenden Contactwagen. Derselbe ist dreiachsig geplant. Die Achsen laufen in Rahmen *R*, die weit unter die Leitung greifen, um Entgleisungen des Contactwagens zu erschweren und bei etwaigen Entgleisungen kurze Schlüsse unmöglich zu machen, ferner um das bequeme Einheben der Wagen in die Leitung zu ermöglichen.

Die Räder *A*, aus Siliciumbronze angefertigt, haben entweder halbkreisförmige oder scharfkantige Rinnen, mit welchen sie die Drähte *a* auf der Lauffläche umfassen und so den Contact vermitteln. Diese Rinnen können etwas tiefer sein als die Zeichnung zeigt, damit die Spurkränze weiter unter den Draht greifen und dadurch die Entgleisungs-Gefahr verringern.

Die Construction der Achse ist aus Fig. 91 deutlich zu ersehen. Da jede Verbindung der beiden Leitungsdrähte im Contactwagen unmöglich gemacht sein muss, so wird jede Achse aus einem isolirenden Materiale hergestellt werden, in welches dann metallische Verlängerungen *b* als Achsenschäfte einzuschrauben sind. Als

Fig. 90.

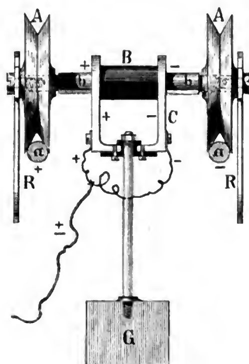



Material zum Isolirstück *B* verwende man Hartgummi und umwickle denselben derart mit Metallbändern, dass die Enden mindestens auf 6 Mm. von Metall frei bleiben.

Es handelt sich nun um die Ableitung der Elektricität vom Contactwagen zu dem mit dem Receptor ausgerüsteten Fahrzeuge. Auf den Achsschäften *b* hängt eine zweiarmige metallene Gabel *C*, deren Arme ebenfalls von einander isolirt sind. Diese Gabel ist nicht fixirt, sondern gestattet eine kleine Winkelbewegung zur Achse, um der Richtung des Zuges folgen zu können. An den

Armen der Gabel sind die Enden eines zweiaderigen Kabels angeschraubt, so dass nun der vollkommene Contact von den Drähten zu den Rädern, von da zu den Achsen und über die Arme der an dieser hängenden Gabel zum Kabel und in das rollende Fahrzeug hergestellt ist, wie dies aus der Zeichnung leicht ersehen werden kann. Da nun ferner alle Räder ein und derselben Seite durch den Rahmen *R* mit einander in leitender Verbindung stehen, so ist der sichere Contact zwischen Drähten und Contactwagen wohl ausser Zweifel, umsomehr, da durch das nach zwei Richtungen bewegliche Gewicht *G* der Schwerpunkt des Contactwagens weit unter die Drähte verlegt wurde, was bei etwaigen Ungleichheiten in der Horizontal-Ebene der Drähte das Entgleisen der Wagen hintanhält. Das Gewicht muss natürlich vollkommen isolirt in der Gabel eingehängt sein. Will man dem Contactwagen eine noch grössere Stabilität auf den Drähten sichern, so kann man demselben vier, ja selbst fünf Achsen geben; nur muss darauf immer Rücksicht genommen werden, dass der Schwerpunkt in die Mittellinie fällt.

Fig. 91.




Man hat auch proponirt, die Drähte vertical über einander zu ziehen, ferner dreiräderige Contactwagen-Achsen und in Folge dessen dreidrähtige Leitungen zu

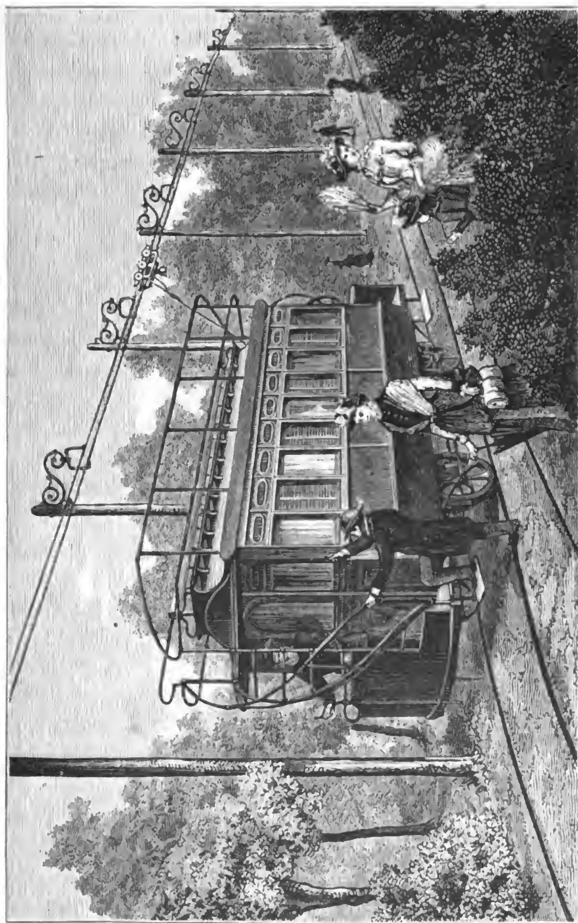
verwenden, wobei die mittlere Leitung nur als Stütze und Sicherung des Contactwagens zu dienen hätte; es liegen aber für keine dieser Ansichten Erfahrungen vor, und wird es Sache der Experimentatoren, deren es naturgemäss auf diesem Gebiete nur wenige geben kann, sein, die zweckmässigste Lösung dieser Frage zu suchen.

Es soll hier auch des Versuches Erwähnung gethan werden, die Leitung oder die Leitungen zwischen den Schienen in unbedeckte Canäle zu legen, durch geeignete Vorrichtungen an den Fahrzeugen aufnehmen, und nach bewerkstelligtem Contact wieder in den Canal versenken zu lassen; doch scheint es, dass diese Anordnung ein befriedigendes Resultat nicht ergeben hat noch ergeben kann.

Figur 92 auf Seite 225 zeigt die gesammte Anordnung einer elektrischen Eisenbahn-Leitung mit darüber rollendem Contactwagen.

Die Firma Siemens & Halske, der wir fast alle diesbezüglich einschlagenden Experimente und die systematische Sammlung der dabei gemachten Erfahrungen verdanken, hat bei der Pariser internationalen elektrischen Ausstellung 1881 die Leitung zur elektrischen Eisenbahn aus Röhren von 25 Mm. lichter Weite hergestellt, in denen der Dimension entsprechend kleine Contactrollen gleiteten; es gab dabei aber häufig Anstände und zwar insbesondere an den Anschlussstellen der Röhren; das ganze Arrangement machte auch keinen besonders günstigen Eindruck.

Die genannte Firma hat deswegen auch bei einer in Zaukerode (bei Dresden) erbauten elektrischen Grubenbahn zur Leitung des elektrischen Stromes längs der Bahn nicht mehr Röhren, sondern kleine Schienen aus



⊥-Eisen isolirt aufgehängt, und rollt über diese, ähnlich wie bei den früher beschriebenen Siliciumbronze-Leitungen, der den Strom übernehmende Contactwagen. Diese Anordnung soll sich bewähren, obwohl gegen die Form des Querschnittes dieser Elektricitäts-Leitung Bedenken insofern erhoben werden können, als eine sõlche Leitung bei gleichem Materiale und rundem Querschnitte jedenfalls weniger Widerstand bietet

A. Ehrlich in Berlin proponirt, die Leitung an den Laufschienen isolirt zu befestigen (II. Bd. d. E. Bl., S. 188) und durch Contactrollen dem Receptor zuzuführen. Diese Idee hat gewiss einiges für sich; die Proposition des Herrn A. Ehrlich scheint jedoch sowohl complicirt als in der Ausführung theuer, und wird sich, wenn sie zur Verwirklichung kommen sollte, einigen Modificationen unterziehen müssen.

Es erübrigt hier noch, das, was beim Baue und überhaupt bei der Anlage von Elektricitäts-Leitungen zum elektrischen Bahnbetriebe insbesondere berücksichtigt werden muss, etwas weiter auszuführen.

Es sei:

$\gamma$ das Gewicht per 1 Kb.-Mtr. des Materiales in Kilogramm, und zwar ist

für Schmiedeeisen . . $\gamma = 7788$ Kgr.
» Kupfer . . . . . . $\gamma = 9000$ »
» Phosphorbronze . $\gamma = 8930$ »
» Siliciumbronze . . $\gamma = 8900$ »

$K$ die absolute Festigkeit des Materiales per 1 Qu.-Mtr. Querschnitt, d. i. das Gewicht in Kilogramm, wobei ein Stab des Materiales von 1 Qu.-Mtr. Querschnitt zerreisst, und zwar ist:

für weichen Eisendraht $K = 44{,}000.000$ Kgr.
» harten Eisendraht . $K = 60{,}000.000$ »
» reines Kupfer . . . $K = 25{,}000.000$ »
» Phosphorbronze*) . $K = 110{,}000.000$ »
» Siliciumbronze*) . . $K = 118{,}000.000$ »

$n = 1, 2, 3, 4, \ldots\ldots$ eine Zahl, welche den Grad der Sicherheit gegen Zerreissen angiebt bei dem höchsten Grade der Spannung, also z. B. bei niedrigster ($-25^0$) Temperatur;

$t$ die Temperatur-Differenz ($C^0$) zur Zeit der Drahtspannung ($+10^0$) über die vorkommende niedrigste Temperatur;

$\alpha$ der Ausdehnungs-Coëfficient des Materiales per $1^0$ C.; also für

Schmiedeeisen . $\alpha = 0{\cdot}00001182$,
Kupfer . . . . . $\alpha = 0{\cdot}0000172$,
Phosphorbronze $\alpha = 0{\cdot}0000170$,*)
Siliciumbronze . $\alpha = 0.0000171$ *)

$e$ die Spannweite in Metern, im Niveau;

$h_1$ der Durchhang bei der niedrigsten Temperatur in Metern;

$h_2$ die Zunahme des Durchhanges bei einer Temperatur von $t^0$ (in Metern);

$h = h_1 + h_2$ der ganze Durchhang bei $t^0$ über der niedrigsten Temperatur.

Dann sind insbesondere für kleinere Spannweiten, wie sie bei elektrischen Bahnen vorkommen, die Werthe von $h$ und $h_1$ nach folgenden Formeln zu ermitteln:

---

*) Nach den Angaben des Herrn Lazare Weiller, Angoulême.

$$h_1 = \frac{e^2\, n\, \gamma}{8\, K} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1.$$

$$h = h_1 + h_2 = \sqrt{{}^3/_8\, e^2\, \alpha\, t + h_1{}^2\, (1 + \alpha\, t)} \quad . \quad . \quad 2.$$

Den Werth für $n$ wird man bei praktischer Anwendung dieser Formeln gleich 4 setzen können und ist dann z. B.:

für Kupferdraht . . $h_1 = 0{\cdot}00018\ e^2$,
» harten Eisendraht $h_1 = 0{\cdot}0000649\ e^2$.

Es ist eine genaue Ermittelung des Durchhanges bei Leitungen für elektrische Eisenbahnen um so wichtiger, als bei kleinen Spannweiten und geringem Durchhange der Einfluss der Temperatur-Aenderung verhältnissmässig viel grösser ist, als bei grosser Spannweite und grossem Durchhange.

Sind die Stützpunkte nicht im selben Niveau und sind die Höhen-Unterschiede nicht allzu gross, so kann man die Formeln 1 und 2 unverändert anwenden; der Durchhang $h$ ist dann aber der senkrechte Abstand von der die beiden Stützpunkte verbindenden geraden Linie, und liegt mehr oder weniger aus der Mitte der Spannweite nach dem niedrigeren Stützpunkt hin.

Behalten wir die vorigen Werthe bei, und bedeutet:

$b = \frac{e}{2}$ die halbe Spannweite in Metern,

$l$ die halbe Bogenlänge in Metern,

$G$ das Gewicht des halben Drahtbogens und zugleich die Vertical-Spannung in jedem der Stützpunkte in Kilogramm,

$H_1$ die Horizontal-Spannung in jedem Stützpunkte,

$S_1$ die Maximal-Spannung in jedem Stützpunkte,

$\alpha$ den Neigungswinkel an den Bogenenden,

$m$ den Werth $\frac{K}{n\,\gamma}$ und zwar meistens $\frac{K}{4\,\gamma}$,

so ist:

$$l = b + \frac{2\,h_1^2}{3\,b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3.$$

$$h_1 = m - \sqrt{m^2 - l^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4.$$

$$H_1 = \frac{b}{2\,h_1}\,G \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5.$$

$$S_1 = \frac{\sqrt{b^2 + 4\,h_1^2}}{2\,h_1} - G \quad . \quad . \quad 6.$$

$$\text{tang}\ \alpha = \frac{2\,h_1}{b} \text{ oder auch } = \frac{2\,l\,h_1}{l^2 - h_1^2}. \quad 7.$$

Für die Zunahme $h_2$ der Bogenhöhe eines Drahtbogens von der Bogenhöhe $h_1$ der Spannweite $e$, bei einer Temperatur-Zunahme von $t^0$ C und dem Ausdehnungs-Coëfficienten $\alpha$ des Materiales erhält man annähernd

$$h_2 = 0{\cdot}00000887 \,.\, l\,\frac{b}{h_1}\,t \quad . \quad . \quad . \quad 8.$$

Ueber die Anlage und den Bau der Leitungen, über die zu diesen zu verwendenden Materialien erhält man im XVI. Bd. dieser Bibliothek (Zacharias: Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage) alle weiteren erforderlichen Aufschlüsse. Hier wird nur noch die eine Bemerkung angeschlossen, dass jede Mühe, Sorgfalt und alle Kosten, die man auf eine gute Isolirung der Leitung verwendet, von unberechenbarem Vortheile wird, und zwar vortheilhaft zur Erreichung eines regelmässigen, ungestörten Verkehres und zur Erzielung eines möglichst ökonomischen Betriebes.

Ueber Widerstand, Isolations-Fähigkeit, Isolations-Widerstand, Fehler und Störungen in den Leitungen, sowie über die ziffermässige Berechnung aller dieser bei der Anlage und dem Betriebe von Leitungen zu berücksichtigenden Factoren giebt Prof. Dr. P. Zech's Formelbuch (Bd. X dieser Bibliothek) eine vollständige und übersichtliche, dabei aber meisterhaft gedrängte Zusammenstellung.

Die Leitungen bei elektrischen Bahnen sind möglichst auf einer Seite der Bahn anzulegen und ist das Wechseln der Seite zu vermeiden.

Es wird ferner vortheilhaft sein, die Leitungen möglichst nahe an die Schienen zu stellen und die Bügelträger möglichst über die Schienen reichen zu lassen, weil dadurch die Fortbewegung des Contactwagens erleichtert wird und ein seitlicher Zug des Kabels an den Contactwagen sowohl die Leitungen unnütz und unschön in Anspruch nimmt, als auch häufig, insbesondere an den Leitungs-Anschlussstellen, Behinderungen und Entgleisungen des Contactwagens veranlasst, die dann auch jenes Funkenspritzen verursachen, das auf ängstliche Gemüther einen unberechtigte Furcht erzeugenden Eindruck ausübt.

Ist man genöthigt, mit der Bahn breite Strassen zu übersetzen, wodurch auch weite Spannungen der Leitungen nöthig werden, so ist das eine Schwierigkeit, deren Behebung von den localen Verhältnissen bestimmt werden wird. Im schlimmsten Falle wird man sich entschliessen müssen, an solchen Stellen ein leichteres Material einzuschalten, das weitere Spannungen gestattet, allerdings ein Auskunftsmittel, dessen Anwendung man mit allen Mitteln zu vermeiden trachten soll.

Bei Leitungen mittelst Laufschienen werden bei Strassenübergängen die Schienen normal stromlos gehalten, und der Strom in einem Kabel unter dem Niveau über die Strasse geleitet. Soll ein Eisenbahnwagen über die Strasse fahren, so wird durch jenen automatisch das Kabel aus- und die Fahrschiene eingeschaltet.

---

# X.

# Die Eisenbahn-Fahrzeuge.

Allgemeine Constructions-Bedingungen. — Eintheilung nach der Beschaffenheit des Wagenkastens. — Verschiedene Wagen-Constructionen. — Eintheilung der Sitzplätze. — Stehplätze. — Die Räder. — Die Achsen. — Das Wagen-Untergestelle. — Der Wagenkasten und dessen Bestandtheile. — Dimensions-Bestimmungen der Wagen. — Uebertragung der Kraft von dem Receptor auf die Wagenachsen. — Leitung der Elektricität im Wagen. — Die Contact-Hersteller. — Das Vorwärts- uud Rückwärtsfahren. — Die elektrische Wagenbeleuchtung.

Die Wahl der Construction für die zum elektrischen Bahnbetriebe tauglichen Wagen hängt in erster Reihe davon ab, ob die Bahn für die Beförderung bedeutender Massen des Publikums zu einzelnen bestimmten Tageszeiten, oder dafür eingerichtet werden soll, dass die Möglichkeit geboten sei, einzelne kleinere Gruppen von Passagieren in gewissen Zwischenräumen befördern zu können.

Wird z. B. in der Nähe einer grossen Stadt eine elektrische Bahn nach irgend einem Vergnügungs-Etablissement oder nach einem beliebten Ausflugsorte oder

nach einem stark frequentirten Bahnhofe erbaut, so wird man dieselbe für Massen-Transporte einrichten, und daher mit Wagen von grossem Fassungsraume ausstatten müssen.

Bei einer Stadtbahn in irgend einer Stadt zweiten oder dritten Ranges, bei Vicinalbahnen etc. wird sich die Aufstellung von Wagen mit kleinerem Fassungsraume empfehlen, dagegen wird man im letzteren Falle einer grösseren Anzahl von Wagen als im ersteren Falle bedürfen.

Bei elektrischen Bahnen für den Waaren-Transport wird sich die Construction der Wagen nach der Beschaffenheit der zu transportirenden Güter richten müssen.

Für Wagen zur Personen-Beförderung wird man immer vortheilhaft eine der erprobten Tramway-Typen wählen. Die Waggons der Dampf-Eisenbahnen, die für grössere Fahrgeschwindigkeiten construirt sind, wären für elektrische Bahnen nicht zu empfehlen, weil die todte Last solcher Wagen eine viel zu bedeutende ist und die Waggons für elektrische Bahnen nach folgenden Grundsätzen gebaut werden müssen:

Man verlange:

1. Geringes Eigengewicht bei genügender Festigkeit des Gefüges;

2. grösstmögliche Tragkraft bei guter und vollständiger Ausnützung des gebotenen Raumes;

3. praktische und zweckentsprechende Vertheilung der Last des leeren Wagens und der Last bei voller Belastung;

4. sollen alle Theile für die Revision und etwaige Reparatur leicht zugänglich sein.

Gute und solide Ausführung der einzelnen Theile zu einem gediegenen Ganzen sind allgemeine Bedingungen, die wohl nicht speciell angeführt zu werden brauchen.

Es sollen im Nachstehenden vorerst die Eisenbahnwagen in ihrer Gesammt- und Detail-Construction, und dann erst in ihrer Ausstattung mit dem Receptor und der Kraft-Transmission behandelt werden.

Es giebt ganz offene, halb offene oder ganz geschlossene, ferner zwei-, drei-, selbst vierachsige Wagen; dieselben haben eventuell eine und auch zwei Plattformen, ferner eine oder auch zwei Etagen; sie sind entweder mit Lang- oder mit Quersitzen, oder mit Lang- und Quersitzen ausgestattet und können die Wagen-Abtheilungen mehr oder minder luxuriös oder ganz gleichartig eingerichtet sein, je nachdem Classen-Unterschiede gemacht, oder nur einclassige Preise eingehoben werden sollen.

Die Fig. 93, 94 und 95 zeigen Ansichten eines zweiachsigen Wagens für 18 Sitzplätze mit zwei Plattformen, ähnlich wie solche bei der Wiener Tramway in Verwendung stehen. Das Gewicht eines solchen Wagens beträgt 2250 Kgr.

Die Fig. 96, 97 und 98 zeigen Ansichten eines zweiachsigen Wagens für 20 Sitzplätze mit zwei Plattformen und einem Mittel-Quergang. — Eigengewicht: 2300 Kgr. Im letzteren sind Langsitze. im ersteren Wagen Quersitze angebracht. Das Ein- und Aussteigen ist bei dem einen in der Mitte, bei dem anderen an den Stirnseiten ermöglicht.

Fig. 93.

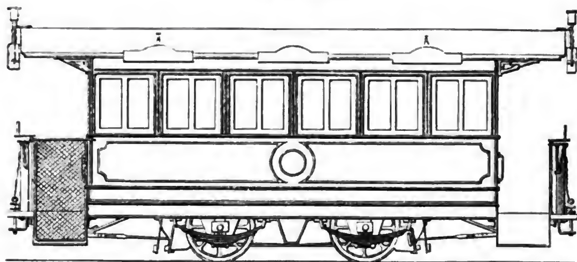


Fig. 94.

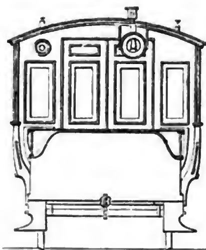


Fig. 95.

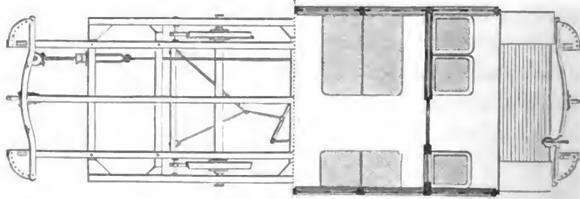


Fig. 96.

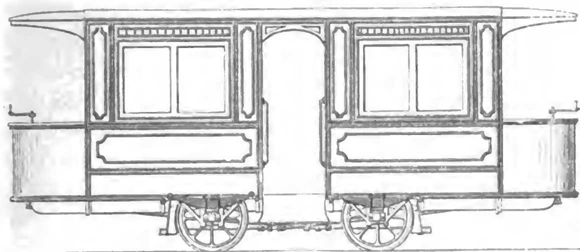


Fig. 97.

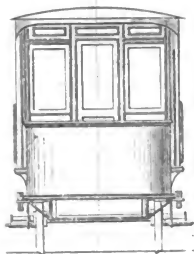
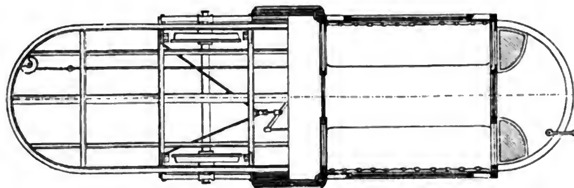


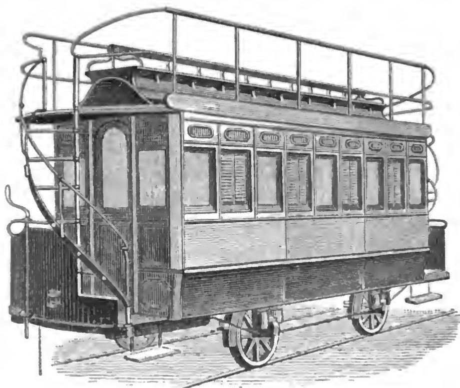
Fig. 98.



Diese beiden Wagen-Gattungen werden dort anzuwenden sein, wo es sich weniger um Massen-Transporte als um einen regelmässigen Verbindungsdienst zwischen zwei Orten handelt.

Zum Massen-Transport eignet sich der in Fig. 99 abgebildete Wagen mit Imperial-Sitzen; derselbe enthält

Fig. 99.



46 Sitzplätze und hat 2800 Kgr. Eigengewicht, natürlich immer ohne die elektrische Einrichtung mitzurechnen. Alle drei aufgeführten Wagen-Gattungen sind für Normalspur berechnet.

Es wird bei den meisten elektrischen Bahnen vortheilhaft sein, sogenannte ganz geschlossene Wagen zu verwenden, und es so einzurichten, dass an heissen Tagen die Fenster entweder ganz herausgenommen oder wenigstens versenkt werden können; im ersteren Falle muss

dann Vorsorge getroffen sein, dass an den offenen Seitentheilen im Bedarfsfalle Plachen den nöthigen Schutz gewähren.

Die Ausnützung des gegebenen Wagenraumes ist eine Hauptaufgabe des Constructeurs; die Zahl der Sitzplätze schwankt je nach der Bestimmung der Bahn und den örtlichen Verhältnissen zwischen 12 und 46; einetagige Wagen für Normalspur sollen nie unter 16, nie über 46 Sitzplätze haben; bei schmalspurigen Bahnen ist die Minimalzahl der Sitze durch das Bedürfniss, die Maximalzahl durch die Tragfähigkeit des Oberbaues und die dadurch bedingte Construction des Wagen-Untergestelles begrenzt.

Die Anordnung der Quersitze soll eine vortheilhaftere Ausnützung des Wagenraumes gestatten, als die der Langsitze.

Ob die Sitze verschieden ausgestattet werden sollen, d. h. ob man im Wagen eine Classen-Eintheilung (I. und II. Classe) treffen soll, wird von verschiedenen Erwägungen und hauptsächlich davon abhängen, ob die betreffende Bahn von einem so gemischten Publikum benützt werden wird, dass eine Trennung desselben sowohl bezüglich der Oertlichkeit als auch des Fahrpreises geboten erscheint; kann eine solche Trennung entfallen, so wird der Betrieb jedenfalls sehr vereinfacht, ohne dass in den meisten Fällen die Rentabilität leidet.

Es handelt sich noch um die leidige Frage der Stehplätze und dieser ist bei elektrischen Bahnen, die meistens nur eine ziemlich knapp zugemessene Kraft zur Verfügung haben und gegen ausserordentliche Kraftverluste dermalen nicht genügend gesichert sind, ganz besondere Beachtung

zu widmen. Die Pariser Tramway gestattet nur einer beschränkten Anzahl Personen (4—5) auf der Plattform zu stehen; im Interieur und am Imperial sind nur Sitzplätze vorhanden, und werden diese beiden Wagen-Abtheilungen abgeschlossen, sobald alle Sitze besetzt sind. Diese Vorschriften werden dort thatsächlich befolgt, übrigens auch strenge gehandhabt. Der lebhafte Italiener und der sonst so ruhige Deutsche sträuben sich aber immer noch gegen derartige Maassnahmen, und können wir die nichts weniger als erbauende Beobachtung machen, wie in diesen beiden Ländern die Wagen bei Secundär-Bahnen und Tramways wenn dieselben auch vollkommen besetzt sind, doch noch von stehenbleibenden Fahrgästen derart occupirt werden, dass die Wagen, trotz der Einsprache der Conducteure, nicht selten in unverantwortlicher Weise überfüllt sind. — Es wäre daher für elektrische Eisenbahnen sehr zu rathen, Stehplätze überhaupt nicht zu gestatten und nur so viel Passagiere in einen Wagen aufzunehmen, als Sitzplätze vorhanden sind. Ist dies aber nicht immer oder nur zum eclatanten Schaden der Unternehmung durchführbar, so ist es dringend geboten, eine Ziffer für die Wagenbesetzung festzusetzen, die absolut nicht überschritten werden darf, und zwar einestheils um Ueberfüllungen der Waggons überhaupt zu vermeiden, anderentheils um beim elektrischen Betriebe anlässlich unvorhergesehener Stromverluste den anstandslosen Betrieb nicht zu gefährden.

An den Wagen unterscheidet man folgende Bestandtheile:

1. die Räder sammt den Achsen,
2. das Wagen-Untergestelle,
3. den Kasten.

## 1. Die Räder.

Es giebt Speichenräder (Schmiedeeisen), Schalengussräder (Hartguss, Centrifugalguss, Eisenguss, Stahlguss) und Räder, zusammengesetzt aus geschmiedeten und gegossenen Theilen.

Bei den zusammengesetzten Rädern wird häufig auch der Radkranz aus gediegenerem, der Radkörper (Radstern) aus anderem billigeren Materiale hergestellt, und sind da viele Combinationen der verschiedenen Metallsorten möglich. Für elektrische Bahnen wird sich aber die Verwendung von sogenannten Holz- oder Papierrädern deswegen empfehlen, weil es häufig nothwendig ist, den Wagen von den Schienen gegen Elektricitäts-Leitung zu isoliren, was durch derartige Räder jedenfalls am verlässlichsten und sichersten bewerkstelligt werden dürfte. Bei diesen wird nämlich der Raum zwischen dem schmiedeeisernen oder, was noch besser ist, aus Stahl angefertigten Radreifen und dem aus demselben Material angefertigten inneren um die Achse liegenden Ring mit harten Holzblöcken (Hykori-Holz) oder einer Papiermasse, wie sie besonders in Amerika zu allerlei Verwendung gelangt, ausgefüllt, und auf diese Weise nicht nur eine bedeutende Stabilität des Rades, sondern auch ein ruhiger, geräuschloser Gang des Wagens und eine totale Isolirung des Wagens gegen Elektricitäts-Leitung zur Schiene erzielt.

Die Durchmesser der Räder variiren zwischen 420 und 950 Mm. Für elektrische Bahnen dürften sich Raddurchmesser von 750—800 Mm. am vortheilhaftesten erweisen.

Der wichtigste Theil am Rade ist ohne Zweifel der Radreif, und zeigt Fig. 100a das Profil eines solchen, u. zw. einen von konischer Form, weil diese der cylindrischen Form (Fig. 100b) allgemein vorgezogen wird.

Die Neigung der Lauffläche variirt zwischen 1:35 und 1:10, der Konus von 1:16 dürfte sich am ehesten empfehlen. Wenn sich schon das Profil des Radreifens den verwendeten Schienen im Allgemeinen anpassen muss, so ist das umsomehr bei der Lauffläche bedingt. Wird bei elektrischen Bahnen die Laufschiene als Elektricitäts-Leiter benützt, so wird man sowohl Schienenkopf

Fig. 100*a*.



Fig. 100*b*.



als auch die Lauffläche des Radreifens möglichst breit zu nehmen haben. Die grösste Breite der Lauffläche misst bei den gebräuchlichen Rädern 135 Mm., die geringste 32 Mm.

Ausserdem ist noch die Spurkranzhöhe zu bestimmen. Die kleinste Höhe beträgt 10 Mm., die grösste 31 Mm., die gebräuchlichste 20 Mm. Bei all' den hier angeführten Maassangaben ist natürlich nur auf jene Bahnen reflectirt, die auch dem öffentlichen Personen-Transporte dienen. Bezüglich der Stellung des Spurkranzes zur Lauffläche des Rades bestehen drei Möglichkeiten:

1. der Spurkranz ist an der Innenseite der Räder,
2. der Spurkranz ist an der Aussenseite der Räder, und

3. der Spurkranz befindet sich in der Mitte der Lauffläche des Radreifens.

Der letztere Fall ist der seltenste, diese Anordnung soll sich nicht bewähren; der zweite Fall ist ebenfalls ungewöhnlich, und nur der erste Fall hat sich bewährt.

Das Gewicht eines Rades variirt zwischen 49 und 220 Kgr.

Je zwei Räder (Fig. 101) sind durch eine Achse (aus Stahl) verbunden, der mittlere Durchmesser dieser

Fig. 101.

Achsen beträgt 70—130 Mm. am Schafte, im Lagerhalse aber 50—90 Mm. Die Stärke der Achsen stehe im geraden Verhältnisse zur Grösse der Belastung der Achsen.

Die Schäfte der Achsen laufen in Lagern, die aus Rothguss oder Bronze, hie und da auch aus Weissmetall (Hartmetall - Composition) angefertigt sind. Für eine passende Schmierung dieser Lager muss vorgesorgt werden, und wenn man die Räder zur Elektricitäts-Leitung benützt, wird darauf Rücksicht zu nehmen sein, dass die Lager einen widerstandslosen Contact zwischen Rad und Achse garantiren; es wird sich überdies in diesem Falle die Her-

stellung einer separaten, gut und verlässlich leitenden Verbindung zwischen Radreif und Achse empfehlen.

Es giebt für Eisenbahnen zwei-, drei- und vierachsige Wagen. Die Achsen sind entweder unverrückbar zu einander oder auch so eingerichtet, dass sie sich radial zu den Geleisecurven einstellen. Da die beste Art der Kraftübertragung von Receptor auf die Wagenräder heute noch nicht ermittelt ist, so muss für elektrische Bahnen die unverrückbare Einstellung der Achsen zu einander gewählt werden; man wird dann, um das Befahren schärferer Curven zu ermöglichen, den Radstand, d. h. die Entfernung der Achsen zu einander ziemlich kurz nehmen, und immer nur zweiachsige Wagen für den elektrischen Betrieb construiren.

Das Wagenuntergestelle (siehe Fig. 94 und 97) ist entweder aus Holz oder aus Eisen angefertigt. Da man bei elektrischen Bahnen die Verringerung der todten Last mit allen Mitteln zu erreichen strebt, so wird man für solche Fälle entschieden Holzconstruction wählen, und nur dann, wenn für Massen-Transporte zweietagige Wagen gewählt werden, dürfte sich die Verwendung eiserner Langträger und mit Eisen beschlagener Stirnträger (Brustbalken) empfehlen.

Der Wagenkasten zerfällt in folgende Bestandtheile:

1. das Gerippe,
2. die Täfelung,
3. den Fussboden,
4. das Dach,
5. die Fenster,

6. die Thüren,
7. die Sitze.

Das Gerippe sei bei elektrischen Bahnen ganz aus Holz, und nur bei zweietagigen Wagen empfiehlt es sich, die vier Ecksäulen und zwei Mittelsäulen aus Eisen anzufertigen.

Die Täfelung kann aus Mahagoni-, Eichen-, Eschen-, Buchen-, Pappel- oder (besonders gut) Teakholz angefertigt werden. Eisenblech-Täfelung wird man bei elektrischen Bahnen wohl vermeiden.

Der Fussboden kann sehr verschieden ausgeführt werden: Einfacher glatter Bretterboden, Parquetboden, Lattenrost auf einfachem Bretterboden, Lattenrost mit Wachstuch- oder Linoleum-Ueberzug, Bretterboden mit Wachstuch- oder Kautschuk-Teppichen u. a. m. Im Winter wird der Fussboden mit Reisstroh- oder einfachen Strohmatten zu belegen sein.

Das Dach sei ebenfalls, wenn es nicht als Fussboden für die zweite Etage dient, möglichst leicht; es wird aus Holz angefertigt und mit wasserdichtem Segeltuch, das überdies noch mit einem Lackanstrich versehen wird, überzogen. Das Dach kann übrigens auch aus leichten Blechen hergestellt werden, doch dürfte sich die Verwendung von Holz zu diesen Zwecken immer mehr empfehlen.

Die Fenster seien zum Versenken hinter die innere Vertäfelung eingerichtet und mit Vorhängen, bei denen man beliebigen Luxus, vom Zwilchstoff bis zur Seide, entfalten kann, ausgestattet.

Jalousien als Ersatz für die Ventilations-Dachaufsätze sollen sich gut bewähren.

Auf eine gute Fixirung der Fenstergläser und Fensterrahmen sowohl bei aufgezogener als versenkter Lage ist besonders zu sehen, um das lästige Klirren bei den Bewegungen und Erschütterungen der Wagen hintanzuhalten.

Es stehen bei Personenwagen theils Wendethüren theils Schiebethüren in Verwendung, doch scheint es, dass man wegen Raumersparniss der letzteren Gattung ziemlich allgemein den Vorrang einräumt.

Auch bei den Sitzen kann man grösseren oder geringeren Luxus entfalten. Am meisten verbreitet sind glatte Holzsitze, und auch solche aus geschweiftem und perforirtem Fournier; dann Lattensitze mit geschweiftem Gestelle, Sitze mit Rohrgeflecht und solche aus perforirtem Blech. Hie und da findet man die Sitze auch mit festen oder losen Polstern ausgestattet. Die losen Polster sind auf einer Seite mit Wachstuch (zum Sitzen im Sommer), auf der anderen Seite aber mit Plüsch (zum Sitzen im Winter) überzogen.

Es erübrigt nunmehr, der Verbindung zwischen Achsbüchsen und Wagen-Untergestelle zu gedenken, und sind diesbezüglich drei Arten solcher Verbindungen im Gebrauche.

Das Untergestelle ist nämlich mit den Achsbüchsen in elastischer Verbindung, und wird die Elasticität

*a*) mittelst Blattfedern,

*b*) mittelst vertical stehender Spiralfedern, und

*c*) mittelst Kautschuk-Cylindern

hergestellt.

Blattfedern haben sich dabei vortheilhaft erwiesen, Spiralfedern weniger gut; bei Verwendung von Kautschuk-

Cylindern muss auf vorzügliche Qualität gesehen werden, Kautschuk-Cylinder als Tragfedern, zwischen Achsenlager und Wagen-Untergestelle, kommen ausserordentlich häufig vor, sie dürften sich auch bei elektrischen Bahnen bewähren. Amerikanischer Kautschuk soll zu solchen Zwecken 4—5 Jahre verwendet werden können; im Winter verliert derselbe allerdings an Elasticität.

Bezüglich der Dimensionen der Wagen mögen noch folgende Angaben dienen.

Es variirt:

1. die Wagenlänge zwischen 3·140 Mtr. und 13·400 Mtr.,
2. die Wagenbreite zwischen 1·530 Mtr. und 3·100 Mtr.,
3. die innere Höhe des Wagenkastens
   *a*) in der Mitte gemessen, zwischen 1·880 Mtr. und 2·500 Mtr.,
   *b*) an den Seiten gemessen, zwischen 1·658 Mtr. und 2·050 Mtr.,
4. die ganze Höhe des Wagens über den Schienen
   *a*) bei einetagigen Wagen zwischen 2·550 Mtr. und 3·375 Mtr.,
   *b*) bei zweietagigen Wagen zwischen 3·450 Mtr. und 4·900 Mtr.,
5. die Plattformhöhe zwischen 0·4 Mtr. und 1·25 Mtr.

Für den ruhigen Gang der Wagen ist das Verhältniss zwischen Wagenlänge und Radstand von Wichtigkeit; es beträgt im günstigen Falle 1·33 Mtr., im ungünstigen 4·44 Mtr.

Das Verhältniss der Wagenbreite zur Spurweite beträgt minimal 1·25, maximal 2·40.

Das **Gewicht** der **Wagen** schwankt zwischen 1070 und 11.300 Kgr.; es sollen per Sitz, beziehungsweise Stehplatz bei elektrischen Bahnen nie mehr als 60—80 Kgr. Wagen-Gewicht entfallen, eine Verminderung des Gewichtes per Platz soll möglichst angestrebt werden.

Das **Minimal-Gewicht** der mit Receptor ausgestatteten **Wagen** und der **Radstand** der Wagen im Allgemeinen muss unter Berücksichtigung der in der Trace vorkommenden Steigungen und Gefälle, der schärfsten Curven, der Maximal-Belastung der Wagen und der beabsichtigten Fahrgeschwindigkeit ermittelt werden.

Nach Formel 1, Seite 171 ist

$$p = M\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) + T\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) + Z\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right)$$

und da

$$P = \frac{D}{m} = \frac{M}{m}$$

und weil ferner

$$\frac{M}{m} = T\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) + Z\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right)$$

so folgt hieraus das Gewicht des Wagens

$$M = m\,(T + Z)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{n}\right) \quad \ldots\ldots \; 1.$$

Das so ermittelte Resultat zeigt dann auch in weiterer Reihe, wie viel jede Wagenachse Belastung auszuhalten hat, um die Achsenstärke berechnen zu können.

Die Grösse des Radstandes $A$ wird aus Formel 9, Seite 176, gefolgert, u. zw. ist

$$A = 4\left(\frac{2\,g\,R}{v^2} + \frac{K}{M} - 1\right) \quad \ldots\ldots \; 2.$$

da derselbe hauptsächlich von dem Seitendrucke abhängig gemacht werden muss, den Räder und Schienen in Bogen aufeinander ausüben.

Es ist im Vorstehenden immer nur von Personenwagen gesprochen worden. Bezüglich der Güterwagen gilt das hier Gesagte, soweit es sich auf Räder, Achsen und Untergestelle bezieht, ebenfalls; die Aufbaue der Güterwagen sind zu verschiedenartig, als dass auf eine Beschreibung derselben hier weiter eingegangen werden kann.

Für den Fall, dass beabsichtigt wird, mehrere Wagen gleichzeitig und mit einander verbunden in Verkehr zu setzen, müssen dieselben mit Kuppelungs-Vorrichtungen ausgestattet werden, die aber bei elektrischen Bahnen bedeutend leichter als für Locomotivbahnen construirt sein können. In diesem Falle sind dann auch Stoss-Vorrichtungen nöthig, doch dürften hierfür zumeist einfache Puffer genügen. Auch mit Bremsen müssen insbesondere alle Personenwagen ausgestattet werden, und ist dabei Rücksicht zu nehmen, dass diese Bremse vom Wagenführer an beiden Stirnseiten des Wagens gehandhabt werden kann. Vorrichtungen zur Beseitigung von Schnee, Steinen und anderen Hindernissen dürften bei elektrischen Bahnen nur ausnahmsweise nöthig werden.

Berechnet man den Preis der Wagen derart, dass man die Beschaffungskosten der Wagen für verschiedene Strassenbahnen vergleicht, und dann ermittelt, wie viele Sitzplätze per 1000 Mk. beschafft werden können, so findet man, dass die erhaltenen Vergleichsziffern zwischen 2·7 und 10·5 variiren.

### 2. Die elektrischen Einrichtungen der Wagen.

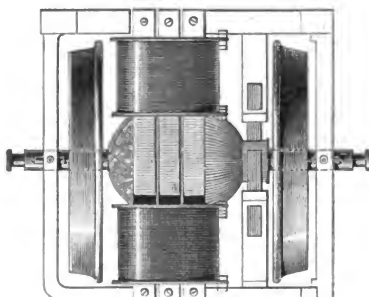
Die Unterbringung des Receptors am Wagen und die Uebertragung der Kraft von der Achse des Receptors auf die Wagenachsen ist eine schwierigere Aufgabe, als es für den ersten Augenblick den Anschein hat. Die Schwierigkeit liegt darin, dass zum Zwecke der Kraftübertragung die Entfernung zwischen den beiden rotirenden Achsen eine unveränderliche sein soll und muss, und dass dies nicht der Fall ist, wenn man den Receptor am Untergestelle des Wagens befestigt. Das Naheliegende wäre es wohl, die Wagenachse zugleich als Achse der Armatur des Receptors zu verwenden; es ist dies in Fig. 102 veranschaulicht worden.

Wie aber aus dem Capitel über die Kraftübertragung erhellt, wird dies nur dann leicht durchführbar sein, wenn die Umdrehungszahl des Rades per Minute eine bedeutende und constante sein muss. Auch sonst ergiebt diese Anordnung Uebelstände, wie z. B. schwierige Untersuchung bei Revisionen und Reparaturen, Reibungen der Multiplication an den Polschuhen bei Fehlern im Oberbau etc., denen man gerne ausweicht. Siemens empfiehlt diese Anordnung bei der elektrischen Brief- und Paquet-Beförderung.

B. Egger hat bei seiner elektrischen Bahn den Receptor am Untergestelle einer eigenen elektrischen Locomotive aufgestellt und die Kraft mittelst zweier Riemen auf die Wagenachsen übertragen. Die Dimensionen waren dabei so klein, dass die Entfernungs-Differenzen zwischen den beiden rotirenden Wellen unberücksichtigt bleiben konnten. Die Fabrikanten elektrischer Eisenbahn-

wagen veröffentlichen nicht gerne Details ihrer Wagen-Constructionen, und das, was darüber bekannt geworden ist, bietet wenig Anhaltspunkte zur umfassenden Beurtheilung solcher Einrichtungen; das Veröffentlichte ist zumeist — wir wollen annehmen ohne präcise Tendenz — recht unklar gehalten, wir müssen uns daher mit dem Gebotenen begnügen, obwohl zugestanden wird, dass

Fig. 102.

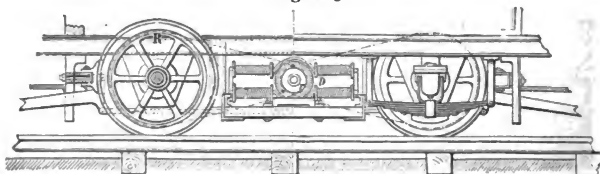


dieser wichtige Punkt einer viel eingehenderen Behandlung bedarf.

Bei der von Siemens in Paris erbauten elektrischen Eisenbahn stand der Receptor unter dem Untergestelle; die Kraft wurde mittelst einer Gall'schen Kette auf beide Wagenachsen übertragen, eine Anordnung, die sehr vortheilhaft genannt werden kann. Fig. 103 zeigt schematisch die bezügliche Anordnung, wobei *D* den Receptor, *r* die Achse der Armatur und *R* die auf der Achse des Wagens aufgesetzten Transmissions-Räder andeutet.

Die »Electrical Storage Comp.« situirt den Receptor bei ihren mit Accumulatoren betriebenen Wagen in der durch Fig. 104 dargestellten Weise. Auf den Wagenachsen sind 2 Langträger $a\,a_1$ gelagert, an denen der Receptor $A$ befestigt ist. Die Rotation der Armaturachse wird durch eine Transmission $b$ auf die Wagenachsen übertragen. Dadurch bilden nun Wagenachsen — Receptor — dessen Befestigung, und — Transmission — ein starres System, was den Wagen etwas schwer beweglich macht; dieser Uebelstand wird aber weniger empfindlich,

Fig. 103.

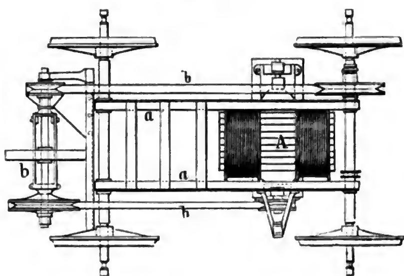



wenn der Radstand klein gewählt wird und bei der Bahnanlage scharfe Curven möglichst umgangen werden. Zur Transmission kann man Riemen, Ketten oder Hanfseile verwenden.

Die Uebertragung der Rotation vom Receptor auf die Wagenachsen wurde auch durch Zahnräder und durch Frictionsrollen versucht, wie aber vorausgesehen, mit nicht günstigem Erfolge, da die Widerstände bei der verschiedenen Bahnbeschaffenheit allzusehr variirten. Auch diese Frage steht im Allgemeinen noch im Stadium des Experimentes, und ist die endgiltige Lösung derselben wohl nicht sehr nahe.

Es handelt sich nunmehr noch um die Zuleitung des elektrischen Stromes zum Receptor im Wagen, und wird man sich hierbei nach der Art der Leitung (Schienen- oder Luftleitung) richten müssen. Werden die Laufschienen zur Elektricitäts-Leitung benützt, so müssen die Räder, die den Contact zu besorgen haben, von der Achse und den übrigen Bestandtheilen des Wagens wohl isolirt sein. Wie schon früher erwähnt, eignen sich

Fig. 104.




hierzu Räder, deren Sterne aus Holz- oder Papiereinsätzen bestehen, vortrefflich. In diesem Falle wird auch die Leitung zum Receptor keine Schwierigkeit verursachen. Man verbindet einen gewöhnlich aus Stahl angefertigten Radreifen durch eine breite Kupferspeiche mit einem Metallringe, der isolirt auf der Wagenachse aufgesetzt ist; dasselbe geschieht auf der anderen Seite bei einem zweiten Wagenrade. Auf den isolirten Metallringen schleifen nun je ein Paar diametral einander gegenüber stehende Doppelfedern, von denen die Elektricität dann beliebig weiter geleitet werden kann.

Bei Wagenrädern mit metallenen Radsternen ist die Leitung deswegen schwieriger, weil die Isolirung nicht so leicht durchgeführt werden kann. Hierbei ist, wie auch im früheren Falle, vor Allem zu berücksichtigen, dass dem Strome nirgendwo ausser dem Receptor die Möglichkeit geboten sei, von der einen Laufschiene zur anderen zu gelangen; es müssen demnach die sämmtlichen Eisentheile am Untergestelle parallel zu den Schienen in zwei Theile getheilt und wohl von einander isolirt werden. Die Isolirung der beiden Achsentheile ist aber nicht nur schwierig, sondern auch in Berücksichtigung der Sicherheit des Verkehrs bedenklich, und da bei ganz metallenen Rädern die Isolirung der Radreifen noch schwieriger möglich sein wird, so erübrigt eben nur die Theilung der Achse. Es müssen dann aber auch die Verbindungen des Untergestelles mit den Scheeren, welche die Lager tragen, durch nicht leitende Schichten isolirt sein.

Dass alle diese Complicationen bei stark strapazirten Bestandtheilen nicht nur dem Constructeur, sondern auch dem Betriebsmanne viele Sorge bereiten, ist klar, und wird man die Beschaffung von sogenannten Holz- oder Papierrädern, wenn auch deren Anschaffungspreis ein etwas höherer ist, um so lieber anstreben, als dabei alle complicirten, unsicheren und kostspieligen weiteren Isolirungen entfallen.

Die Leitung von den Metallringen, die isolirt auf der Wagenachse aufgesetzt sind, dürfte keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

Bei Luftleitungen mit Contactwagen ist die Ableitung des elektrischen Stromes einfacher, die Enden des auf

Seite 223 beschriebenen Kabels, das den Contactwagen führt, sind in geeigneter Weise am Dache des Wagens befestigt, und werden von diesem Befestigungspunkte aus die Leitungsadern des Kabels bis zum Receptor isolirt weiter geleitet, auf welchem Wege allerdings noch die nöthigen Hilfsapparate eingeschaltet werden müssen. Zu den Leitungen im Wagen nehme man isolirten Kupferdraht von entsprechender Stärke; diesen Draht wird man, wo dies thunlich, ausserdem noch in Rinnen legen und auf diese eine Schutzleiste nageln; frei im Wagen geführte Leitungen wird man zur Vorsorge noch mit Kautschukhosen umgeben, um sie einestheils vor Beschädigungen zu schützen, anderntheils aber auch die Fahrgäste zu hindern, die blanken Stellen der Leitung zu berühren.

Zwischen dem Contact der äusseren Leitung mit jener des Wagens und den Anschlusspunkten an die Klemme des Receptors sind die Contact-Hersteller eingeschaltet, die es dem Wagenführer ermöglichen, die Leitung vom Generator zu schliessen oder zu öffnen, um so den Wagen in Gang zu setzen, oder anzuhalten. Es ist nicht allein wegen der Vorschrift, sondern auch im Interesse der Durchführung des Verkehrs angezeigt, dass an beiden Stirnseiten des Wagens derartige Contact-Hersteller angebracht sind, da der Wagenführer seinen Stand immer an jener Seite des Wagens haben muss, nach welcher gefahren wird, damit er die Strecke vor sich bequem übersehen, und erforderlichen Falles sofort anhalten kann, wenn er ein Fahrthinderniss bemerkt.

Unterlässt man diese Anordnung der doppelten Contact-Hersteller, so muss der Wagen an den Endpunkten

der Linie immer umgedreht werden, was Zeitverluste und Kosten verursacht. Sind die Wagensitze einseitig angeordnet, so dass der Fahrende mit dem Gesichte immer nach der Richtung der Fahrt sehen soll, so ist das Umdrehen der Wagen allerdings nicht zu umgehen, nur dann sind auch keine doppelten Contact-Hersteller nöthig.

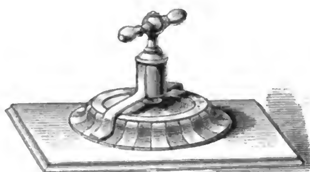
Die Contact-Hersteller können in den verschiedensten Formen construirt werden, sie müssen folgenden Anforderungen entsprechen: Der Contact muss ein verlässlicher, sicherer sein und wenig Uebergangs-Widerstand bieten, daher eine breite Contactfläche in den verschiedenen Stellungen haben, die Contactflächen sollen leicht rein und von Oxyden frei gehalten werden können; in zweiter Reihe muss vorgesorgt werden, dass beim Trennen der Contactstellen die Funkenbildung verhindert, oder doch möglichst eingeschränkt werde.

Bei einer Aufeinanderfolge von Contact-Lamellen, wodurch gradatim die Stromstärke erhöht oder vermindert werden kann, ist Vorsorge zu treffen, dass bei der Verschiebung des beweglichen Contacttheiles die Leitung, wenn es nicht speciell beabsichtigt ist, nicht unterbrochen wird, sondern der bewegliche Contacttheil bereits auf der fixen Lamelle aufliegt, bevor die frühere fixe Lamelle ganz frei ist. Fig. 105 zeigt einen solchen Contact-Hersteller mit Kurbel, wie er dann gebräuchlich ist, wenn man zur Stromregulirung künstliche Widerstände benützt, oder bei Accumulator-Betrieb die Zuschaltung von Accumulatoren zur eingeschalteten Minimalzahl ermöglichen will.

Bei diesen Gleitcontacten, die bezüglich der Contactsicherheit allen anderen Contact-Vorrichtungen entschieden

vorzuziehen sind, ist aber Funkenbildung nicht zu vermeiden, sobald der elektrische Strom eine gewisse Spannung erreicht hat. B. Egger verwendet daher zu diesen Zwecken eine mit Kupfervitriol-Lösung gefüllte starke Glasröhre mit kupferner Bodenplatte, in welcher ein ebenfalls kupferner Kolben den Contact vermittelt, indem er gegen die Bodenplatte gedrückt wird. Da die gesättigte Kupfervitriol-Lösung verhältnissmässig gut leitet, so kann man mit einem solchen Apparat die Stromstärke und damit auch die Fahrgeschwindigkeit ganz vortrefflich reguliren, denn je nachdem man den Kolben mehr oder weniger von der Bodenplatte entfernt, vergrössert oder verringert sich der äussere Widerstand und damit auch die Stromstärke und in letzter Folge die Zugkraft des Receptors. Man kann dabei soweit gehen, bis die Zugkraft gleich Null wird, worauf man den Kolben ohne die geringste Gefahr einer Funkenbildung aus der $CuSO_4$-Lösung entfernen, d. h. den äusseren Leiter öffnen kann; auch die Bildung starker Extracurrents ist hiebei vermieden. Bei der Verwendung künstlicher Widerstände wird man die gewöhnliche Form der Neusilber-Drahtspiralen in Holzrahmen wählen, die in einen Kasten verschlossen, in der Nähe des Führerstandes an beiden Stirnseiten des Wagens angebracht werden.

Fig. 105.



Zu den elektrischen Wageneinrichtungen zählt man auch jene Apparate, die dazu dienen, die Fahrtrichtung

des Wagens zu reguliren. Wir haben bei der Besprechung der elektrischen Kraftübertragung gehört, dass die Armatur einer Dynamo-Maschine in Rotation versetzt wird, wenn man in dieselbe den elektrischen Strom aus einer anderen Dynamo-Maschine einleitet, und dass die Rotation des Receptors entgegengesetzt gerichtet ist zu jener Rotation, die den elektrischen Strom im Generator erregt.

Dadurch ist nun die Richtung der Rotation im Receptor und somit die Fahrtrichtung gegeben. Will man die Richtung ändern und in verkehrter Richtung fahren, so kann das auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden. Man kann den Wagen mittelst einer Drehscheibe oder eines sphärischen Dreiecks der Trace umkehren, und bedarf man dann keiner weiteren Vorkehrungen. Will man aber das Wagenumdrehen vermeiden und überhaupt, wie das wünschenswerth, ja sogar nöthig ist, das sofortige Wechseln der Fahrtrichtung ermöglichen, so kann dies mittelst Anbringung eines Commutators geschehen. Leitet man nämlich den Strom verkehrt in den Receptor, so wird dadurch auch die Armatur-Rotation und auf diese Weise auch die Fahrtrichtung verkehrt. Dabei ist aber die Stellung der Collectorbürsten in Betracht zu ziehen.

Dort, wo die Collectorbürsten so auf dem Collector aufliegen, dass deren Enden über die Tangentenpunkte hinausreichen, braucht die Stellung der Bürsten beim Rückwärtsfahren keiner Aenderung unterzogen zu werden. Wenn aber der Tangentenpunkt gleichzeitig auch das Ende der Bürste ist, und diese daher ziemlich steif am Collector aufsitzt, wie das insbesondere bei den Edison-Maschinen der Fall ist, und sonst viele Vortheile bietet, so ist bei dem beabsichtigten Verkehren der Rotations-Richtung

im Receptor die Stellung der Bürsten zu ändern, d. h. man wird in diesem Falle andere Bürsten von der verkehrten Seite anlegen, und die früher in Action gewesenen Bürsten vom Collector abziehen, weil hierbei der letztere nicht gegen die Bürsten rotiren kann. Diese Anordnung wird so construirt, dass der Mechaniker mit einem Handgriffe gleichzeitig das Beseitigen des einen Bürstenpaares und das Anlegen der anderen Bürsten bewirkt.

Die Umkehrung des Stromes zum Receptor wird durch einen Commutator vom Führerstande aus bewerkstelligt, und kann dieser Commutator entweder separat aufgestellt oder gleich mit der Einschalte-Vorrichtung (Contact-Hersteller) verbunden werden.

Man kann bei elektrischen Bahnen wohl mit einigem Recht erwarten, dass man auch zur Beleuchtung der Wagen nur Elektricität verwendet. Beim Accumulator-Betrieb wird diese Beleuchtung leicht möglich sein, obwohl es sich auch hier empfiehlt, eigene Accumulatoren zum Zwecke der Beleuchtung mitzunehmen, und die elektrischen Lampen nicht etwa in einen Nebenschluss zu jenen Accumulatoren einzuschalten, die zur Fortbewegung des Fahrzeuges bestimmt sind. Beim Bahnbetrieb mit fix aufgestellten Generatoren ist die elektrische Beleuchtung der Wagen, die sich in eine innere und äussere Beleuchtung theilt, etwas schwieriger.

Accumulatoren zum Zwecke der Lichterzeugung würden die todte Last der Wagen allzusehr erhöhen; die Verwendung eines Theilstromes aus dem Generator oder dem Receptor ist entschieden zu perhorresciren. Für diesen Fall wären die Batterien nach Puluj

$Zn/Zn\,SO_4/Cu\,SO_4/Cu$ zu empfehlen, die bei passender Construction in Folge eines ausserordentlich geringen inneren Widerstandes wohl geeignet sind, Glühlampen, und nur um solche kann es sich ja hier handeln, mit genügendem elektrischen Strom zu versorgen. 24 derartige Elemente beanspruchen einen Raum von 50 × 50 × 34 Cm., wiegen zusammen circa 60—70 Kgr. und sind, nach bereits ausgeführten Proben, im Stande, bei einmaliger Füllung 8 Glühlampen à 8 Normalkerzen durch 7 Stunden zu speisen. Dann muss die Batterie auseinandergenommen, gereinigt, es müssen die verbrauchten Materialien ersetzt werden, damit die Elemente neuerdings in Function treten können. Die Betriebskosten dieses Beleuchtungs-Systems sind nicht höher als jene der jetzt bei Eisenbahnen gebräuchlichen Rüböl-Wagenbeleuchtung.

---

## Anhang.

Einsichtige Personen, die in den Entwurf dieses Werkes Einblick nahmen, wünschten, dass dasselbe auch genaue Angaben über die Kosten des Baues und des Betriebes elektrischer Eisenbahnen biete. Diesem Wunsche, dem weitgehende Berechtigung nicht abgesprochen werden kann, ist jedoch schwer zu entsprechen.

Die Kosten variiren je nach den Einheitspreisen, nach dem jeweiligen Zinsfusse und nach vielen anderen Umständen so bedeutend, dass der Verfasser fürchten muss, es werden den von ihm etwa gebotenen Ziffern selbst bei rigorosester Berücksichtigung der Durchschnitts-

Ermittelung hie und da Zweifel entgegengesetzt werden. Dem zu entgehen, wird es sich empfehlen, ein concretes Beispiel zu betrachten, das bei Entwürfen von Kosten-Voranschlägen als Muster, in manchen Fällen sogar als Grundlage zur Beurtheilung der Kosten-Voranschläge ähnlicher Unternehmen dienen kann, und das wohl geeignet sein dürfte, wenigstens ein annäherndes Bild über den Geldbedarf zu einer elektrischen Eisenbahn und die durch den Betrieb einer solchen erwachsenden Betriebskosten zu ermöglichen. Dem Verfasser wurde die Ehre zu Theil, an dem Projecte einer elektrischen Eisenbahn für die schöne Stadt Wien (Praterstern-Rotunde) mitarbeiten zu dürfen, und diesem Projecte ist der nachstehende Kosten-Voranschlag zu obigen Zwecken entnommen. Warum diese Eisenbahn bis jetzt noch nicht ausgeführt ist, gehört nicht an diese Stelle, und behalte ich mir vor, eventuell anderen Orts Intimes über diese Angelegenheit der Oeffentlichkeit zur Beurtheilung zu übergeben.

Zum Kosten-Voranschlage sei Folgendes vorausgesendet: Die Bahn sollte 2·3 Kilometer lang werden, normale Spurweite haben und konnten theilweise bestehende gepflasterte Strassen verwendet werden; es waren ferner Vignoles-Schienen in Aussicht genommen und sollten auch hier der Dampfmotor und die Generatoren in der Mitte der Strecke situirt werden; der erwartete bedeutende Verkehr hätte diese Anordnung, trotz der geringen Entfernungen gerechtfertigt. Es waren oberirdische Leitungen mit Aufhänge-Vorrichtungen projectirt, wie sie in Fig. 85 und 86 dargestellt wurden. Die Wagen sollten 50 Sitzplätze haben, wobei man auf Imperiales reflectirte.

Die Preise wurden hier in Gulden und Mark-Währung angesetzt; dabei aber aus mehrfachen Gründen der österreichische Gulden, entgegen dem Curszettel, gleich 2 Mark gesetzt, die daraus erwachsenden Differenzen dürften wohl nicht gar zu grell und in vielen Punkten berechtigt sein.

## Kostenvoranschlag.

### A. Kosten.

I.

| | fl. kr. | Mk. Pfg. |
|---|---|---|
| Kosten der Concessionirung . . | 1000·— | 2000·— |
| Ausfertigung des Projects . . . | 1000·— | 2000·— |
| Diverse Spesen . . . . . . . | 2000·— | 4000·— |
| **II. Unterbau.** | | |
| Erdarbeiten 5000 Mtr. à 1 fl. . | 5000·— | 10.000·— |
| Objecte 10 Stück à 300 fl. . . | 3000·— | 6000·— |
| Pflasterungen 1200 Mtr. à 5 fl. . | 6000·— | 12.000·— |
| Einfriedungen 1000 Mtr. à fl. 1·50 . | 1500·— | 3000·— |
| » 1000 Mtr. à fl. 0·50 . | 500·— | 1000·— |
| Diverse Herstellungen . . . . | 2000·— | 4000·— |
| **III. Oberbau.** | | |
| Schienen 1100 Mtr.-Ctr. à 13 fl. | 14.300·— | 28.600·— |
| Kleinmaterial 20% . . . . . | 2860·— | 5720·— |
| Wechsel 4 Stück . . . . . . | 1200·— | 2400·— |
| Extrahölzer 4 Garnituren . . . | 400·— | 800·— |
| Wegübersetzungen 6 Stück . . | 600·— | 1200·— |
| Schotter 3000 Mtr. . . . . . . | 3000·— | 6000·— |
| Oberbaulegen 2500 Mtr. . . . | 2500·— | 5000·— |
| Wechsellegen 4 Stück . . . . | 200·— | 400·— |
| **Latus** . | 47.060·— | 94.120·— |

### IV. Hochbau.

| | fl. kr. | Mk. Pfg. |
|---|---|---|
| **Transport** . | 47.060·— | 94.120·— |
| Remise für Motor und Wagen . | 10.000·— | 20.000·— |
| 2 Aufnahms- und Wartehütten . | 2000·— | 4000·— |
| Wärterbuden 3 Stück . . . . | 300·— | 600.— |

### V. Dampfmotor.

| | | |
|---|---|---|
| Erstehung (für 60 H. P.) . . . | 15.000·— | 30.000·— |
| Installation und Fundirung . . | 6000·— | 12.000·— |

### VI. Rollendes Material.

| | | |
|---|---|---|
| Personen-Wagen 6 St. à 50 Plätze | 18.000·— | 36.000·— |
| » » 3 » à 30 » | 6000·— | 12.000·— |

### VII. Elektrische Einrichtungen.

| | | |
|---|---|---|
| Generatoren 4 Stück . . . . . . | 10.000·— | 20.000·— |
| Receptoren 4 Stück . . . . . . | 10.000·— | 20.000·— |
| Reserve-Dynamo 1 Stück . . . | 2000·— | 4000·— |
| Contactwagen 5 Stück . . . . | 250·— | 500·— |
| Leitung: Draht 5000 Mtr. . . | 5000·— | 10.000·— |
| Säulen 200 Stück . . | 600·— | 1200·— |
| Isolation und Träger . | 400·— | 800·— |
| Kleinmateriale . . . . | 500·— | 1000·— |

### VIII. Elektrische Beleuchtung.

| | | |
|---|---|---|
| 1 Dynamo-Maschine . . . . . . | 1000·— | 2000·— |
| 1 » » . . . . . . | 700·— | 1400·— |
| Lampen 6 Stück à 150 fl. . . . | 900·— | 1800·— |
| Leitung 2000 Mtr. . . . . . . | 1000·— | 2000·— |
| Wagen-Beleuchtungs-Garnituren 10 Stück . . . . . . . . | 2000·— | 4000·— |
| Accumulatoren . . . . . . . | 2300·— | 4600·— |
| Glühlampen diverse u. Abrundung | 3990·— | 7980·— |
| **Summa** | 145.000·— | 290.000·— |

Zu diesem Project wäre daher unter den aus vorstehender Kostenrechnung zu entnehmenden Verhältnissen ein Capital von fl. 145.000·— oder Mk. 290.000·— nöthig. Grundeinlösung war keine in Aussicht genommen, da der Grund nur gepachtet werden konnte.

## B. Betriebs-Kosten.

Werden nun 120 Betriebstage angenommen, da nur auf den Sommerverkehr reflectirt wurde, so benöthigt man:

| | fl. kr. | Mk. Pfg. |
|---|---|---|
| 1 Chef-Ingenieur Jahresgehalt . | 2000·— | 4000·— |
| 1 Buchhalter und Cassier . . . | 800·— | 1600·— |
| 1 Maschinist für Dampfmotor . | 800·— | 1600·— |
| 2 Heizer, Taglohn fl. 1·25 | 300·— | 600·— |
| 2 Wagenführer Taglohn fl. 3·— | 720·— | 1440·— |
| 2 » » fl. 2·— | 480·— | 960·— |
| 4 Conducteure » fl. 1·50 | 720·— | 1440·— |
| 5 Arbeiter » fl. 1·— | 600·— | 1200·— |
| Erhaltung der Bahn . . . . . | 800·— | 1600·— |
| » und Betrieb der Maschinen . . . . . . . . . | 1000·— | 2000·— |
| Material, Kohlen, Oel etc. . . . | 1200·— | 2400·— |
| Fahrkarten, Drucksorten, Kanzlei-Auslagen . . . . . . . . | 600·— | 1200·— |
| Steuern . . . . . . . . . . . | 600·— | 1200·— |
| Pacht des Grundes . . . . . | 500·— | 1000·— |
| Diverse . . . . . . . . . . . | 880·— | 1760·— |
| Gesammtsumme der Betriebs-Kosten | 12.000·— | 24.000·— |

## C. Rentabilität.

### Voraussichtliche Einnahmen, Beförderungs-Möglichkeit:

I. Fall: Normaler Verkehr:

120 Tage à 10 Stunden à 10 Fahrten
à 1 Wagen à 40 Sitzplätze
= 480.000 Sitzplätze.

II. Fall: Erhöhte Leistung:

60 Tage à 10 Stunden à 10 Fahrten
à 1 Wagen à 40 Sitzplätze und
60 Tage à 10 Stunden à 10 Fahrten
à 2 Wagen à 40 Sitzplätze
= 720.000 Sitzplätze.

Nimmt man an, dass bei normaler Leistung die Wagen mit nur 50% besetzt sind, und hebt man per Person 10 kr. (20 Pfg.) Fahrgebühr ein, so ergiebt das in 120 Tagen ein Erträgniss

| | | |
|---|---|---|
| | per fl. 24.000·— | Mk. 48.000·— |
| davon ab die Betriebskosten | per fl. 12.000·— | Mk. 24.000·— |
| so bleibt für Verzinsung und Amortisation des Anlagecapitales per fl. 145.000·— Mk. 290.000 ein Betrag von | fl. 12.000·— | Mk. 24.000·— |

was einem mehr als 7%igen Erträgnisse entsprechen würde. Es sei noch einmal betont, dass vorstehende Zusammenstellung mehr als Muster für ähnliche Arbeiten, als zu genauer Kostenangabe dienen soll, immerhin dürfte dieselbe aber hie und da willkommen sein.

Es ist dem Verfasser leider nicht gegönnt auch diesen Band der Elektro-technischen Bibliothek, wie es bei den meisten der anderen Bände geschehen ist, mit einem Wohlklange endigen, mit der Befriedigung, ein abgeschlossenes Ganzes geboten zu haben, abschliessen zu können.

Möge die Schuld davon nicht auf den Verfasser geschoben werden! Es liegt in der Natur des behandelten Gegenstandes, es liegt in der heute noch mangelhaften Entwickelung der elektrischen Eisenbahnen, und in dem gänzlichen Mangel statistischen Materiales, dass der Verfasser schliessen muss mit dem Ausspruche: Es wird noch viel geschehen müssen auf diesem Gebiete; glücklicher Weise kann er gleichzeitig die Versicherung anschliessen: Es wird allseitig an der Vervollkommnung der elektrischen Eisenbahnen emsigst gearbeitet.

# Index.

Abraham 199.
Accumulatoren 147.
Accumulator-Betrieb 160.
Actien 11.
Allard 153.
Amortisation 14.
Ampère 57.
Anrainer 13.
Arbeit, elektrische 122.
absolute 128.
Armatur 84.
Ausbalancirung 195.

Bahnen, Secundär- 8.
Local- 8.
Vicinal- 9.
Montan- 9.
Förder- 9.
Industrie- 9.
Material- 9.
Interims- 9.
Stadt- 10.
Staats- 10.
Privat- 10.
Bahnachse 17.
Bahnbetrieb, elektrischer 184.
Bau 14, 15.
-Termin 13.
-Branchen 15.
Barrièren, Stangen- 34.
Ketten- 34.
Drahtzug- 34.
Thor- 34.
Schlagbaum- 34.
Schiebestangen- 34.
Beförderungs-Intensität 184.
Betriebseröffnung 13.
-Kosten 262.
Bettungsmaterial 40.
Bewegungswiderstand 170.
Bogen-Anfangspunkt 18.
-Endpunkt 18.
-Mitte 18.
Böschungen 30.
Brotherhood 197.
Bruchfestigkeit 218.
Brutto-Tonnen-Kilometer 175.
Bureaugebäude 52.

Canal-Wasserwage 29.
Clarke 76.
Collector 87.
Collectorbürsten 256.
Compound-Maschine 191.
Concession 13.
Concurrenz 15.
Condensationswasser 192.
Contactwagen 221.
Contact-Hersteller 253.
Coulomb 64.
Curven 17.

Dal-Negro 75.
Daněk & Comp. 192.
Dämme 30.
Dampf-Maschine 190.
-Kessel 202.
-Sammler 204.
Deprez 113.
Detail-Nivellement 29.
Dolgoruki 199.
Doppelbahnen 163.
Dove 76.
Drahtspannung 228.
Drehscheiben 50.
Dubois-Reymond 60.
Durchlässe, Röhren- 33.
offene 33.
Dynamometer 143.

Einschnitt 30.
Eisenbahn, elektrische 157.
Elektromagnetismus 65.
Engel 207.
Ettinghausen 76.
Extra-Current 61.
-Hölzer 50.
-Ströme 61.
Expansions-Vorrichtung 193.
Expropriation 13.

Fahrgeschwindigkeit 171, 178.

Fahrordnung 185.
Fahrzeuge 231.
Faure 154, 182.
Faure-Sellon-Volkmar 183.
Federn, Blatt- 244.
Spiral- 244.
Kautschuk- 214.
Flachring 87.
Flügelmauern 33.
Frölich, Dr. O. 129.
Funkenbildung 94.

Garantien 14.
Gebührenfreiheit 13.
Gefälle 30, 164.
Geleise-Entfernung 30.
-Erweiterung 46.
General-Unternehmung 15.
Generalstabs-Karten 17.
Generator 113.
Gleitstuhl 49.
Gramme 83, 86.
Grenzstreifen 38.
Grove 148.

Hackennägel 42.
Häcker 64.
Hartglas 215.
Hartgummi 215.
Herzstück 49.
Horizontale 16, 164.
Hykoriholz 215.

Imperialsitze 236.
Jacobi 92.
Joubert 153.

Kabath 147.
Kessel 202.
König 201.
Kostenvoranschlag 260.
Krone 30.
Kronenbreite 30.
Krümmungen 17.
Kuppelungs-Vorrichtung 247.

Lagerschalen 205.
Längenprofil 29.
Laschen 42.
Laschenbolzen 42.
Leitungen 210.
Leitungsdurchhang 228.
Lenz 57.
Libellenwage 29.
Lichterfelde 212.

Magnetismus 63.
Magneto-Induction 70.
Maximal-Tarife 13.
Meissner 206.
Motor, Froment- 105.
Deprez- 105.
Bürgin- 105.
Trouvé- 105.
Stahl- 105.
Multiplicator 65.

Nivelliren 12.
Nivellement 28.
Normalien 12.
Nutzeffect, elektrischer 122.
mechanischer 122.

Oberbau 29, 37.
Objecte 30.

Petrina 79.
Pixii 75.
Planté 148.
Planum 29.
Poggendorf 148.
Polarisations-Batterien 148.
Postbeförderung 14.
Potier 153.
Prioritäten 11.
Project 10.
Prony's Zaum 143.
Putzcanal 53.

Querprofile 12.

Radius 18.
Räder 239.
Radreif 240.
Radstand 246.
Receptor 113.
Regiebau 14.
Rentabilität 263.
Reynier 147.
Rhumkorff 60.
Riemenscheiben 205.
Ring 85.
Rotations-Maschinen 197.

Schiebebühne 50.
Schiene, Vignoles- 41.
Eisen- 44.
Stahl- 44.
Anschlag- 48.
Mutter- 48.
Stock- 48.
Schiene, Zungen- 48.
Spitz- 48.
Leit- 49.
Schienen-Stoss 46.
-Stuhl 42.
-Isolirung 213.
Schraubennägel 42.
Schornstein 52.
Schwellen, Lang- 45.
Quer- 45.
Schwungrad 194.
Section 17.
Secundär-Element 148.
-Betrieb 8.
Seilrinnen 196.
Setzwage 29.
Signalbuden 52.
Signalposten 55.
Siemens 85.
Sinsteden 148.
Situationsplan 12.
Sohle 30.
Spur-Kranz 240.
-Weite 30.
-Erweiterung 46.
-Bolzen 44.
-Schiene 33.
-Kranzrinne (Rille) 33.
Station 17.
Stefan 95.
Stehplätze 237.
Steigungen 30, 164.
Steinunterlagen 45.
Steuerfreiheit 13.
Steuerung 193.
Stöhrer 60.
Stoss, schwebender 42.
-Vorrichtung 247.
Strecken-Signale 55.
Streichpfosten 33.
Ströme, Schliessungs- 59.
Ströme, Oeffnungs- 59.

Tangente 16.
Tangenten-Winkel 17.
Tangenten-Punkt 18.
Telephon-Posten 55.
Ten-Brink-Feuerung 203.
Thomson 148.
Thomson & Houston 124.
Thüren, Schiebe- 244.
-Wende- 244.
Tourenzahl 90.
Traciren 16.
Transmission 205.
Treska 153.
Trommel 88.

Umfangsgeschwindigkeit 195.
Unterbau 29, 37.
Unterlagsplatten 42.
Uppenborn 94.

Vignoles-Schienen 10.
Volta-Induction 58.
Vorarbeiten, technische 10.

Wagen-Achse 241.
-Fenster 243.
-Gerippe 242.
-Gewicht 246.
-Beleuchtung 258.
-Untergestelle 242.
-Täfelung 243.
-Dimensionen 245
-Remise 50, 53.
Warnungstafeln 35.
Wärter-Buden 54.
Wasser-Motor 209.
Wechsel 47.
Weichen 47.
-Ständer 49.
Weillers Bronzedraht 217.
Werkstätte 53.
Wheatstone 85.
Widerstands-Coëfficient 164.
-Tonnen-Kilometer 166.
Woolf 192.

Zaukerode 224.
Zugstouren 186.
Zwillings-Dampfmaschinen 224.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

# ELEKTRISCHE ZEITFRAGEN

In zwanglosen Bänden.

Die Elektricität ist aus dem Laboratorium des Forschers, der sie entdeckt und erzogen hat, in das Leben hinausgetreten und wächst in den Händen der Techniker zu einer neuen Weltmacht heran. Mit ihr reift eine neue Gestaltung der gesammten menschlichen Verhältnisse, welche durch die Unterwerfung der Natur und die dadurch bewirkte Aenderung der wirthschaftlichen Lebensbedingungen hervorgebracht wird. Bei diesem Siege über die Natur ist aber die Elektricität in vorderster Reihe betheiligt, und ihre Entwickelung muss daher auch die Aufmerksamkeit weiterer als nur technischer Kreise auf sich ziehen. Der Volkswirth und mit ihm der Politiker haben in der Elektricität einen neuen socialen Factor zu erblicken, dessen enorme Bedeutung dem kundigen Auge schon heute hervortritt. Damit ist aber die **Elektricität eine Zeitfrage** geworden.

Bis heute hat nun die sociale Seite der Elektricität neben der technischen nur sehr kümmerliche Beachtung gefunden, und ist nur gelegentlich in den technischen Fachschriften behandelt worden, welche jedoch dem nicht technischen Publikum unzugänglich sind. Da es nun aber zu einem grossen Theile Nichttechniker sind, welche vor Allem die sociale Bedeutung der Elektricität interessirt, muss es diesen willkommen sein, eine besondere Darstellung der hierhergehörigen Fragen, der **„Elektrischen Zeitfragen"**, zu finden.

Diesem Bedürfniss zu genügen, ist das vorliegende Unternehmen bestimmt, welches der Erörterung und Darstellung aller mit der Elektricität in Verbindung stehenden ökonomischen, politischen und juristischen Fragen dienen wird, wobei als ein Grundsatz festgehalten werden soll, dass technische und physikalische Darstellungen so weit als möglich ausgeschlossen bleiben, wenn sie aber nicht vermieden werden können, in einer dem gebildeten Publikum verständlichen Darstellung gegeben werden.

I.

## Die volkswirthschaftliche Bedeutung der Elektricität

und das

## Elektromonopol.

Von ARTHUR WILKE.

8 Bogen. Octav. Geh. 80 kr. = 1 M. 50 Pf. = 2 Fr. = 90 Kop.

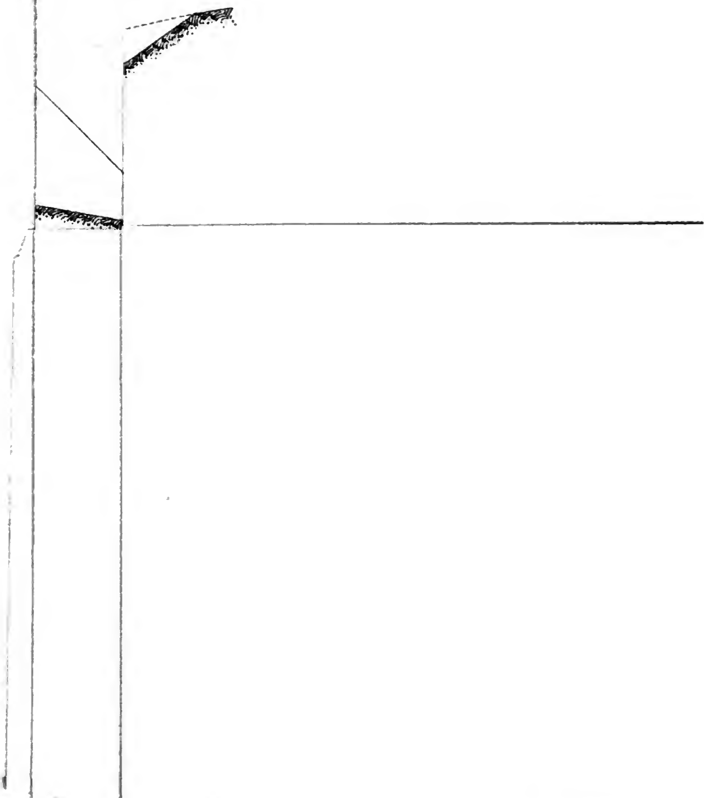
Inhalt: Vorwort. — I. Die Bedeutung der Naturwissenschaft für die Volkswirthschaft. — II. Die Kraftquellen. — III. Die Bewirthschaftung der Kraftquellen mittelst Elektricität. — IV. Der Handel mit Elektricität. — V. Das Elektromonopol. — VI. Zur Durchführung des Elektromonopoles.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.

**A. Hartleben's Verlag in Wien, Pest und Leipzig.**

TAFEL I.



# TAFEL II.

